

VISIT...

LANZAROTE
Caliente.COM

ЭЛЕКТРООБОРУДОВАНИЕ УСТАНОВОК ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ СВАРКИ

2-1. ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ ОБ ЭЛЕКТРОСВАРКЕ

✓ Электросваркой называется способ получения неразъемного соединения металлических деталей путем их местного нагрева до жидкого или пластического состояния с использованием для нагрева электрической энергии. Наиболее распространенные виды электросварки — дуговая и контактная.

При дуговой электросварке соединяемые детали обычно нагреваются вместе с присадочным материалом при помощи электрической дуги, температура в которой превышает 5000°C . В зоне сварки создается ванночка расплавленного металла, которая при охлаждении затвердевает и образует сварной шов, прочно соединяющий свариваемые детали.

При контактной электросварке детали в месте соединения нагревают до оплавления (иногда — до пластического состояния) и сжимают с определенным усилием. Нагрев осуществляется теплом, которое выделяется в точках контактов между деталями при прохождении через них электрического тока. Присадочный материал не добавляется.

✓ На предприятиях электромашиностроения установки электросварки применяют для сварки остовов генераторов и двигателей постоянного тока, приварки к остовам лап, изготовления сварных кожухов электрических машин, сварки крестовин и т. д. Электросварка широко используется при монтажных и ремонтных работах.

Дуговая сварка имеет несколько разновидностей. По особенностям использования электрической дуги различают сварку открытой дугой, закрытой дугой под слоем флюса, защищенной дугой в среде защитного газа. В зависимости от степени механизации и автоматизации процесса сварки говорят о ручной, полуавтоматической и автоматической сварке. Наконец, сварка может производиться на постоянном и на переменном токе однофазной и (реже) трехфазной дугой. Сварка на постоянном токе дороже и требует более сложного обо-

рудования, но дает более высокое качество сварного шва.

Самое широкое применение для сварки черных металлов получила ручная электросварка открытой дугой с плавящимся электродом (рис. 2-1, а). Дуга, получая питание от источника 2 переменного или постоянного тока, горит в воздухе между свариваемыми деталями 1

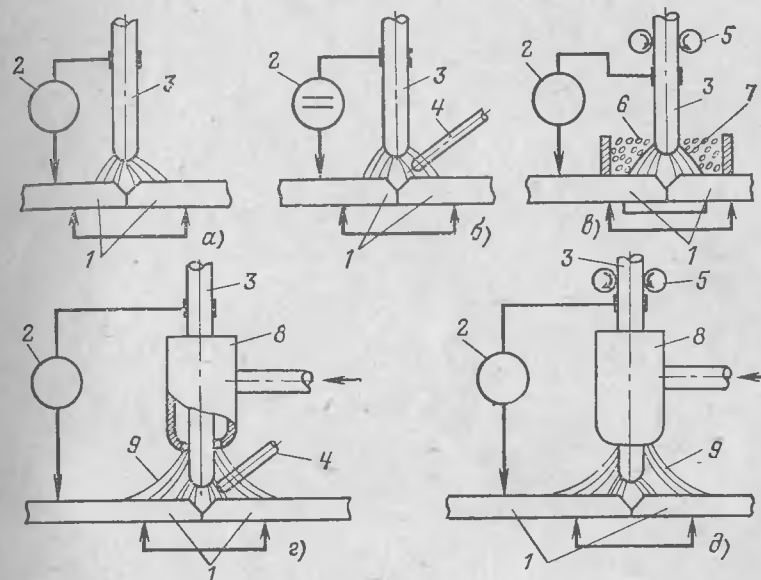


Рис. 2-1. Разновидности дуговой электросварки.

и электродом 3, который плавится в процессе сварки и участвует в образовании сварного шва. Электрод из проволоки, по химическому составу близкой к металлу свариваемых деталей, покрыт обмазкой. Она содержит вещества, которые образуют при расплавлении шлаки и газы, повышающие устойчивость дуги и в известной мере защищающие расплавленный металл от воздействия кислорода и азота воздуха.

Ручная сварка открытой дугой с неплавящимся электродом (рис. 2-1, б) используется обычно при сварке деталей из цветных металлов и сплавов. В этом случае применяется источник постоянного тока. Дуга горит между свариваемыми деталями 1 и электродом 3 (уголь-

ным или графитовым). В зону сварки вводится при-сачочный пруток 4.

При автоматической и полуавтоматической сварке закрытой дугой под флюсом с плавящимся электродом (рис. 2-1, в) дуга горит под находящимся на свариваемых деталях 1 слоем сыпучего вещества — флюса 6. Голая электродная проволока 3 автоматически подается в зону сварки через флюс с помощью подающего механизма 5. Дуга получает питание от источника 2 переменного или постоянного тока. При сварке под флюсом в зоне сварочной дуги под действием высокой температуры флюс расплавляется и образует своеобразный газовый пузырь. Оболочка 7 последнего надежно защищает расплавленный металл от действия кислорода и азота воздуха. При автоматической сварке автоматизируется и перемещение дуги вдоль свариваемых кромок; при полуавтоматической сварке это перемещение осуществляется вручную. Автоматическая сварка под флюсом дает высокое качество сварного соединения; ее производительность в 6—12 раз выше, чем ручной дуговой сварки.

Сварка защищенной дугой в среде защитного газа характерна тем, что в зону сварки специально подают аргон или смеси его с небольшим количеством активных газов (аргонодуговая сварка) или углекислый газ. Ручная аргонодуговая сварка неплавящимся электродом (рис. 2-1, г) на постоянном и переменном токе от источника 2 применяется при изготовлении конструкций 1 из нержавеющей и жаропрочных сталей, цветных металлов и их сплавов, при сварке тонкого металла. Вольфрамовый электрод 3 помещен в газоподогревательную горелку 8, к которой под давлением подводится газ из баллона. Вытекающая из сопла горелки струя газа 9 защищает в зоне сварки основной металл и металл присадочного прутка 4 от воздействия кислорода и азота воздуха. При автоматической и полуавтоматической сварке в среде аргона или углекислого газа используется плавящийся электрод (рис. 2-1, д). Неизолированная электродная проволока 3 при помощи механизма 5 непрерывно подается через горелку 8 в зону сварки, которая отделена от окружающего воздуха струей газа 9. Сварка в среде аргона производится как на переменном, так и на постоянном токе, сварка в среде углекислого газа (она применяется для сталей любого состава) — на постоянном токе. Сварка в среде углекислого газа для

многих видов работ экономически эффективнее других способов сварки.

При питании сварочной дуги постоянным током свариваемые детали чаще всего соединяют с положительным полюсом источника, а электрод — с его отрицательным полюсом. Это — так называемая «прямая полярность» сварки. В дуге в области анода выделяется

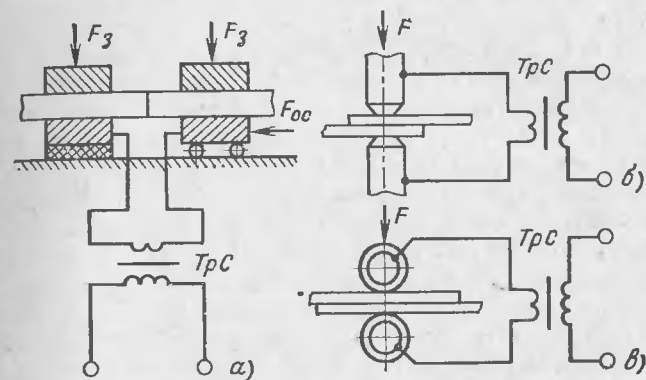


Рис. 2-2. Разновидности контактной электросварки.

большее количество тепла, чем в области катода, поэтому при сварке с прямой полярностью большую долю тепла получают служащие анодом свариваемые детали, которые обычно массивнее электрода. Но в ряде случаев (при сварке тонких листов, некоторых цветных металлов, при сварке в среде углекислого газа и др.) применяется и «обратную полярность», когда электрод является анодом.

Оборудование для дуговой сварки используется и при резке и наплавке металлов, например при ручной дуговой резке металлическим или угольным электродом открытой дугой, аргонодуговой резке и наплавке и т. п.

Контактная электросварка имеет следующие разновидности: стыковая сварка, точечная и роликовая (шовная). Сварку производят на контактных машинах переменным однофазным током большого значения (до тысяч и десятков тысяч ампер) при малых напряжениях (единицы вольт) или мощными однополярными импульсами тока (только для точечной и роликовой сварки).

При стыковой сварке (рис. 2-2, а) детали сваривают по всей плоскости их касания. В зависимости от марки металла, площади сечения и требований к качеству соединения процесс стыковой сварки осуществляют по-разному. Для сравнительно малых сечений свариваемых деталей (до 300 мм²) применяют стыковую сварку сопротивлением. Заготовки с механически обработанными и зачищенными торцами устанавливают в стыковую машину и закрепляют усилием F_3 . После этого их прижимают одну к другой усилием осадки $F_{ос}$ определенного значения и пропускают через них ток от трансформатора TrC . При нагреве металла в зоне сварки до пластического состояния происходит осадка. Ток выключают еще до окончания осадки. При больших сечениях применяют стыковую сварку оплавлением. Ее производят в три стадии: предварительный подогрев, оплавление и окончательная осадка — или только в две последние стадии. Предварительный подогрев в зажимах машины выполняют периодическим смыканием и размыканием деталей при постоянно включенном токе. При этом происходит процесс прерывистого оплавления торцов. Затем детали непрерывно медленно сближают, заготовки прогреваются в глубину до пластического состояния, а на торцах возникает тонкий слой расплавленного металла, после чего резко увеличивают скорость сближения, осуществляя осадку небольшим усилием $F_{ос}$. Стыковая сварка оплавлением дает более высокую прочность шва, не требует предварительной механической обработки, позволяет сваривать детали из разнородных металлов.

При точечной сварке листов (рис. 2-2, б) детали соединяют сваркой в отдельных местах, условно называемых точками. Заготовки устанавливают между электродами точечной машины и плотно сжимают усилием F . Включают ток, и заготовки быстро нагреваются, особенно в месте контакта — чечевицеобразной «точке» под электродами, в которой металл расплавляется и образуется сварная точка, диаметр которой обычно близок к диаметру электродов. После этого ток выключают и заготовки кратковременно выдерживают между электродами под действием усилия F . Точечная сварка применяется для соединения не только листовых заготовок, но и листовых заготовок со стержнями или уголками, швеллерами и т. п. Свариваемые детали могут быть из од-

нородных и из разнородных металлов. Толщина заготовок — от сотых долей миллиметра до 35 мм. Разновидностью точечной сварки является так называемая рельефная сварка. Она характерна тем, что на одной из заготовок предварительно изготовляют выступы (рельефы) круглой, продолговатой или иной формы. Сварку осуществляют одновременно по всем рельефам или последовательно один за другим.

Роликовая сварка (рис. 2-2, в) заключается в том, что заготовки соединяют непрерывным прочноплотным сварным швом, который состоит из ряда последовательных точек, частично перекрывающих друг друга. Заготовки устанавливают в сварочной машине между роликами, один из которых ведущий, или между одним ведущим роликом и оправкой. На ролики действует усилие F механизма давления, и к ним подведен ток. Наиболее распространены два способа роликовой сварки: 1) при непрерывном вращении роликов прерывистым (импульсным) включением тока; 2) включение тока при неподвижных роликах и вращение роликов при выключенном токе (шаговая сварка).

2.2. ИСТОЧНИКИ ПИТАНИЯ СВАРОЧНОЙ ДУГИ

Характеристики сварочной дуги. Статические вольт-амперные характеристики сварочной дуги, т. е. зависимости в установившемся процессе сварки напряжения дуги U_d от сварочного тока $I_{св}$ (тока дуги), показаны на рис. 2-3 для трех различных значений длины дуги. В области I, т. е. при малых токах (например до 100 А для ручной сварки открытой дугой), характеристика дуги падающая. При средних значениях тока (например от 100 до 1000 А для ручной сварки открытой дугой и автоматической сварки под флюсом тонкой проволокой) напряжение дуги практически не зависит от тока (область II). В этом случае

$$U_d = a + b l_d, \quad (2-1)$$

где a и b — постоянные коэффициенты; l_d — длина дуги.

Значения U_d обычно лежат в пределах 25—50 В для ручной сварки открытой дугой, 30—40 В для сварки под флюсом и 20—30 В для сварки в среде защитных газов.

При больших токах (свыше 1000 А для автоматической сварки под флюсом толстой проволокой), т.е. в области III, дуга имеет возрастающую характеристику. Для сварки в среде защитных газов эта область характеристики начинается при значительно меньших токах.

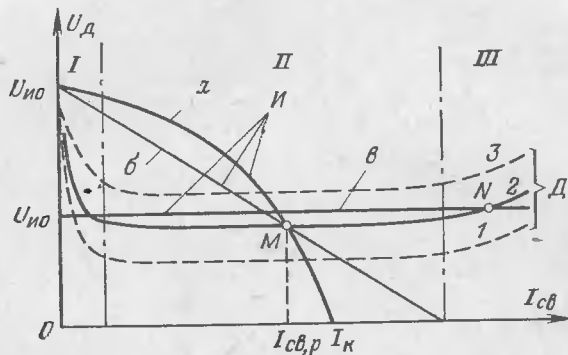


Рис. 2-3. Статические вольт-амперные характеристики сварочной дуги (Д) и внешние характеристики источника питания (И).

1 — короткая дуга; 2 — средняя дуга; 3 — длинная дуга.

Сварочная дуга переменного тока менее устойчива, чем дуга постоянного тока. В каждый полупериод переменного тока дуга угасает и вновь зажигается (восстанавливается). Перерывы в горении дуги будут тем меньше, чем выше напряжение холостого хода источника (при прочих равных условиях). Для сварки открытой дугой напряжение зажигания U_z связано с напряжением дуги U_d зависимостью

$$U_z = 1,3 \div 2,5 U_d. \quad (2-2)$$

При сварке на больших токах под флюсом U_z мало отличается от U_d .

Требования к источникам питания сварочной дуги. Устойчивость дуги в процессе сварки зависит от соответствия внешней характеристики источника $U_H = f(I_{св})$ форме статической характеристики дуги $U_d = f(I_{св})$ в данном процессе. Внешняя характеристика И источника (рис. 2-3) может быть круто падающей (кривая а), полого падающей (кривая б) и жесткой (кривая в),

2-4, а) имеется общий магнитопровод 2 с тремя обмотками: первичной 1, вторичной 5 и реактивной 3. Верхняя часть магнитопровода разъемная и имеет подвижный магнитный шунт 4. Изменением положения шунта, т.е. величины зазора в магнитопроводе, можно регулировать вторичный (сварочный) ток. Чем больше зазор, тем большим будет и ток. Перемещение шунта производится электроприводом с дистанционным управлением. По такой схеме изготавливаются трансформаторы типов ТСД (на 500, 1000 и 2000 А) и СТ (на 1000 и 2000 А). Эти трансформаторы (за исключением ТСД-500) имеют несколько ступеней изменения напряжения холостого хода U_{20} путем переключения отпаек вторичной обмотки и предназначены для автоматической сварки под флюсом. Трансформатор ТСД-500 на номинальный ток 500 А при $P_{вном} = 60\%$ с $U_{20} = 80$ В и пределами регулирования сварочного тока от 200 до 600 А используется также и для ручной дуговой сварки.

В трансформаторах с подвижными катушками (рис. 2-4, б) для регулирования сварочного тока изменяют расстояние между первичной (неподвижной) 1 и вторичной обмоткой 5. Катушки вторичной обмотки скользят по стержням магнитопровода 2. При сближении обмоток 5 и 1 индуктивность рассеяния уменьшается, что приводит к увеличению сварочного тока. Катушки вторичной обмотки перемещаются вручную при помощи винтового механизма. На таком принципе построено большинство выпускаемых в настоящее время сварочных трансформаторов (типов ТС на токи от 120 до 500 А, ТСК и ТД на токи 300 и 500 А).

Трансформаторы новых типов ТД-303 (рис. 2-5) и ТД-504 имеют переключатель диапазонов, при помощи которого катушки обеих обмоток переключаются с параллельного соединения на последовательное;

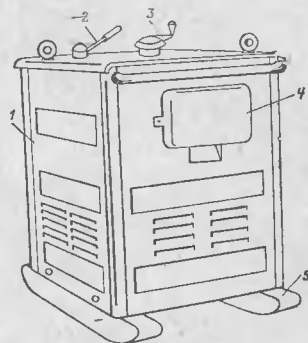


Рис. 2-5. Трансформатор типа ТД-303.

1 — кожух; 2 — рукоятка переключателя диапазонов; 3 — маховичок механизма перемещения катушек вторичной обмотки; 4 — щиток с зажимами для подключения питания и сварочной цепи; 5 — полость.

это дает два диапазона изменения сварочного тока. Например, трансформатор ТД-504 на номинальный ток 500 А (при $PR_{ном}=60\%$) в диапазоне I позволяет при $U_{20}=60$ В регулировать сварочный ток от 240 до 750 А, в диапазоне II при $U_{20}=70$ В — от 75 до 240 А. Номинальное вторичное напряжение $U_{2ном}=30$ В.

Трансформаторы типов ТС и ТСК (последние отличаются от трансформаторов типа ТС наличием конденсаторов, включенных параллельно первичным обмоткам для повышения $\cos \phi$), а также типа ТД предназначены для ручной дуговой сварки.

В трансформаторах с магнитным шунтом (рис. 2-4, в) изменение индуктивного сопротивления рассеяния производится при помощи магнитного шунта 4, расположенного в окне магнитопровода 2 между разнесенными катушками первичной 1 и вторичной 5 обмоток. При уменьшении зазора между сердечником и шунтом сварочный ток уменьшается. На этом принципе устроены трансформаторы типа СТШ на токи 250, 300 и 500 А. Некоторые из этих трансформаторов имеют переключатель соединения катушек обмоток 1 и 5 с параллельного на последовательное, а также устройство, обеспечивающее отключение трансформатора от сети через 0,5—1 с после прекращения процесса сварки. Трансформаторы типа СТШ предназначены для ручной дуговой сварки и автоматической сварки под флюсом.

Трансформаторы с магнитным шунтом, подмагничиваемым постоянным током (см. рис. 2-4, г), имеют в окне магнитопровода 2 между катушками 1 и 5 шунт 4, на котором размещена обмотка подмагничивания 6. Изменяя ток I_n в этой обмотке, можно регулировать индуктивное сопротивление рассеяния основных обмоток. При $I_n=0$ это сопротивление минимально и сварочный ток наибольший. Увеличение I_n приводит к уменьшению сварочного тока. Подобную конструкцию имеют трансформаторы новых типов ТДФ-1001 и ТДФ-1601 (соответственно на 1000 и 1600 А при $PВ_{ном}=100\%$) для автоматической сварки под флюсом. Трансформаторы позволяют осуществить ступенчато-плавное регулирование сварочного тока. Ступенчатое регулирование достигается переключением катушек 5 вторичной обмотки, плавное — изменением тока I_n , для чего обмотка 6 питается от однофазного тиристорного выпрямителя.

Плавное регулирование сварочного тока производится реостатом $R_{рег}$ в цепи обмотки $OB1$. По такой схеме работают генераторы в однопостовых сварочных преобразователях типа ПСО на токи от 120 до 800 А и нового типа ПД на 500 А, предназначенных для ручной дуговой и автоматической сварки под флюсом. Например, преобразователь ПСО-300 с номинальным током 300 А при

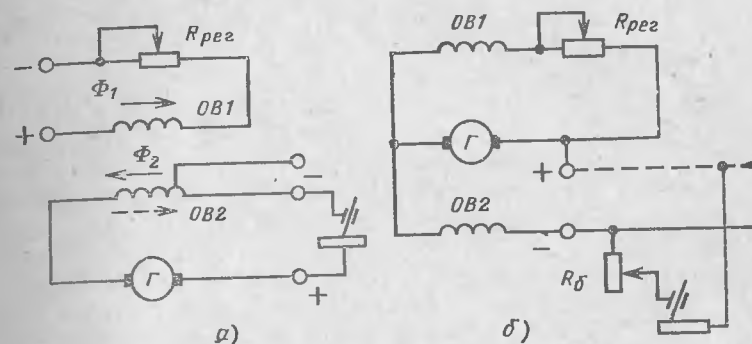


Рис. 2-7. Принципиальные электрические схемы сварочных генераторов постоянного тока.

$PR (ПВ)=65\%$ и номинальным напряжением 30 В позволяет регулировать сварочный ток от 75 до 300 А.

Если обмотка $OB2$ генератора имеет небольшое число витков и включена так, что является подмагничивающей, т. е. поток Φ_2 направлен согласно с потоком Φ_1 и компенсирует поток реакции якоря, то напряжение генератора мало изменяется при изменении сварочного тока. Режим сварки регулируют реостатом $R_{рег}$ в цепи обмотки $OB1$. По такой схеме выполнены однопостовые преобразователи типа ПСГ на токи 350 и 500 А с жесткими характеристиками, предназначенные для сварки в защитных газах. Например, пределы регулирования напряжения и тока у преобразователя ПСГ-300 составляют от 15 до 35 В и от 50 до 350 А.

У некоторых типов преобразователей возможно переключение полярности обмотки $OB2$ генератора (например, у однопостового универсального преобразователя ПСУ-500 на ток 500 А). Такой преобразователь дает как падающие, так и жесткие внешние характеристики,

он пригоден для ручной дуговой сварки и для сварки в защитных газах.

Генератор с самовозбуждением (рис. 2-7, б), выполненный с размагничивающей обмоткой *ОВ2*, имеет падающие характеристики (например, генератор однопостового преобразователя ПС-1000 на 1000 А для автоматической сварки под флюсом). Сварочный ток регулируется реостатом $R_{\text{рег}}$ в цепи параллельной обмотки возбуждения *ОВ1*. Пределы регулирования тока — от 300 до 1200 А. Номинальное напряжение 45 В.

По схеме на рис. 2-7, б с подмагничивающей обмоткой *ОВ2* выполняют генераторы многопостовых преобразователей. Такой генератор имеет очень жесткую внешнюю характеристику: его напряжение практически не изменяется при изменении тока. Так, например, преобразователь ПСМ-1000 рассчитан на одновременное питание девяти или шести постов с максимальным током поста 200 или 300 А. Преобразователь снабжается комплектом из девяти или шести балластных реостатов R_b . Приводной асинхронный двигатель имеет мощность 75 кВт.

В настоящее время машинные сварочные преобразователи постоянного тока вытесняются полупроводниковыми сварочными выпрямителями.

Сварочные выпрямители весьма многообразны по конструкции, электрическим схемам и назначению. Можно выделить две основные разновидности сварочных выпрямителей: с неуправляемыми вентилями и с тиристорами. Независимо от конкретных особенностей типов выпрямителей каждый из них имеет следующие основные узлы: понижающий сухой трехфазный трансформатор; выпрямительный блок; пускорегулирующую и защитную аппаратуру; принудительную воздушную вентиляцию (в большинстве случаев). Все выпрямители подключаются к сети 220 или 380 В.

Сварочные выпрямители с неуправляемыми вентилями делятся на однопостовые и многопостовые, причем однопостовые выпрямители изготавливаются с селеновыми или кремниевыми вентилями, многопостовые — с кремниевыми. Большинство однопостовых выпрямителей имеет крутопадающие внешние характеристики; отдельные типы выполнены с пологопадающими и жесткими характеристиками.

Упрощенная принципиальная электрическая схема сварочного выпрямителя ВСС-300-3 на номинальный сварочный ток 300 А при $\text{ПР}_{\text{ном}} = 65\%$ приведена на рис. 2-8. Вентильный (выпрямительный) блок *ВБ* собран из селеновых вентиляй. Силовой трансформатор с повышенным рассеянием *ТрС* выполнен с подвижными катушками вторичных обмоток. Это позволяет плавно

регулировать сварочный ток в общих пределах от 35 до 330 А при двух диапазонах ступенчатого регулирования. Последнее осуществляется переключением первичных и вторичных обмоток от схемы звезда — звезда на схему треугольник — треугольник. Напряжение холостого хода выпрямителя $U_{\text{в0}} = 58\text{--}65$ В, номинальное напряжение $U_{\text{в, ном}} = 25$ В. Выпрямитель предназначен для однопостовой ручной дуговой сварки и имеет крутопадающую характеристику.

Аналогичные схемы, назначение и характеристики имеют выпрямители типа ВСС на ток 120 А, типа ВКС на токи 120 и 300 А с кремниевыми диодами, а также нового типа ВД на 300 А. Эти выпрямители оснащены переключателями диапазонов. На рис. 2-9 приведены в качестве примера внешние характеристики выпрямителя ВД-303. Рабочее напряжение $U_{\text{в}}$ на зажимах выпрямителя определяется в зависимости от тока $I_{\text{св}}$ соотношением $U_{\text{в}} = 20 + 0,04 I_{\text{св}}$.

Однопостовые сварочные выпрямители с пологопадающими и жесткими внешними характеристиками (например, типа ВС) предназначены для сварки плавящимся электродом в среде защитных газов, а выпрямители на токи 500 и 1000 А — также для автоматической сварки под флюсом. Принцип построения схемы выпрямителя типа ВС иллюстрируется рис. 2-10. Выпрямитель

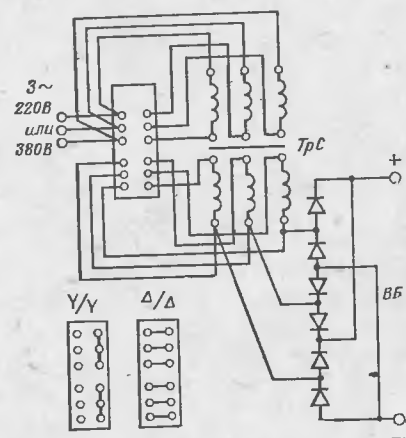


Рис. 2-8. Электрическая схема выпрямителя ВСС-300-3.

состоит из силового трехфазного трансформатора *ТрС* и вентильного блока *ВВ*, собранного на селеновых вентильях. Для ограничения скорости нарастания тока при к.з. электрода включен дроссель *Др*. Регулирование выпрямленного напряжения осуществляется путем ступенчатого переключения отпаяк первичной обмотки каждой фазы трансформатора *ТрС*.

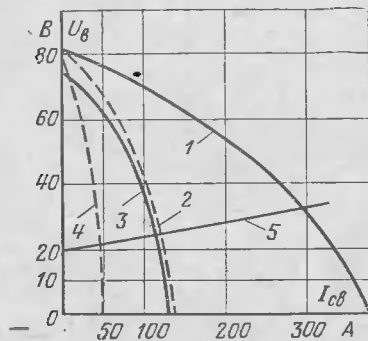


Рис. 2-9.

Рис. 2-9. Внешние характеристики выпрямителя ВД-303.

1 и 2 — при сдвинутых катушках; 3 и 4 — при раздвинутых катушках; 1 и 3 — диапазон больших токов; 2 и 4 — диапазон малых токов; 5 — рабочие напряжения в общем диапазоне 45—300 А.

Рис. 2-10. Поясняющая электрическая схема выпрямителя типа ВС.

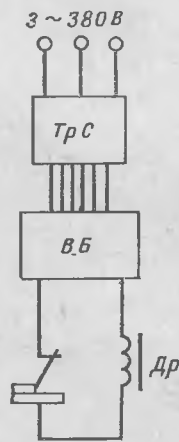


Рис. 2-10.

Многопостовые сварочные выпрямители для ручной дуговой сварки типов ВКСМ-1000 на 1000 А и ВДМ-1600 на 1600 А с кремниевыми вентилями имеют жесткие внешние характеристики. Электрическая схема силовых блоков выпрямителя ВКСМ приведена на рис. 2-11. Вентильный блок *ВВ* собран по так называемой кольцевой шестифазной схеме. Трансформатор *ТрС* имеет два трехфазных комплекта вторичных обмоток. Первичные обмотки *ТрС* соединены в треугольник. Переключателем *П* можно переключать отпайки обмоток, что дает возможность повышать вторичное напряжение на 5% для получения номинального выпрямленного напряжения при пониженном напряжении сети. Выпрямители ВКСМ-1000 и ВДМ-1600 мало отличаются друг от друга. Большой ток ВДМ-1600 обусловлен параллельным

соединением трех вентилях в каждой фазе. Получение падающих характеристик и регулирование тока сварочных постов обеспечивается балластными реостатами, поставляемыми комплектно с выпрямителем.

Сварочные тиристорные выпрямители являются наиболее совершенными источниками сварочного тока.

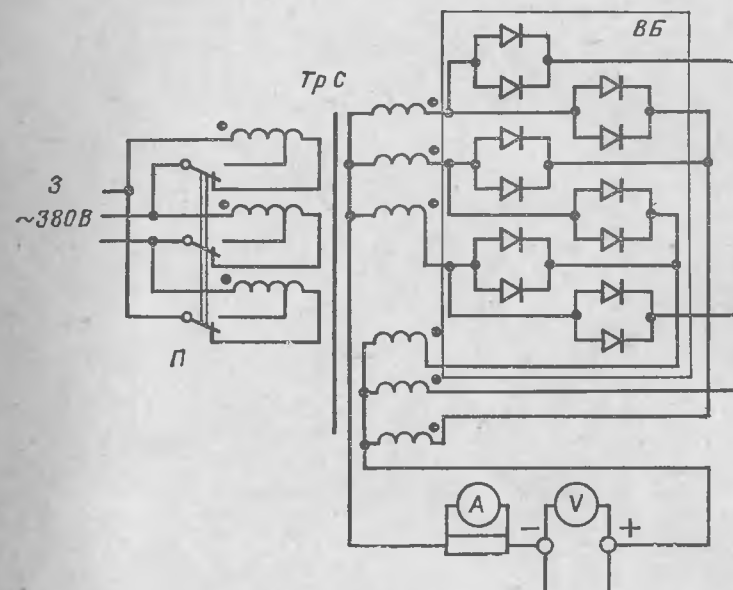


Рис. 2-11. Электрическая схема силовых блоков сварочного выпрямителя ВКСМ-1000.

Однопостовые универсальные выпрямители типов ВДУ-504, ВДУ-1001 и ВДУ-1601 обеспечивают разнообразные сварочные операции. Выпрямители обладают и крутопадающими, и жесткими характеристиками.

Общий вид сварочного выпрямителя ВДУ-504 (номинальный сварочный ток 500 А при $P_{Вном} = 60\%$) показан на рис. 2-12. Выпрямитель помещен в кожух и смонтирован на тележке 1. Сеть 380 В подключается к панели зажимов 10 со стороны задней решетки тележки. На этой панели находится и фильтр для защиты от помех радиоприему, создаваемых при сварке. Защита выпрямителя от к.з. осуществляется автоматическим выключением

чателем 8. Присоединение сварочного кабеля производится к гнездам 22 специальными разъемами. В сварочную цепь включается также дроссель 6. Первичные обмотки трехфазного силового трансформатора 2 мож-

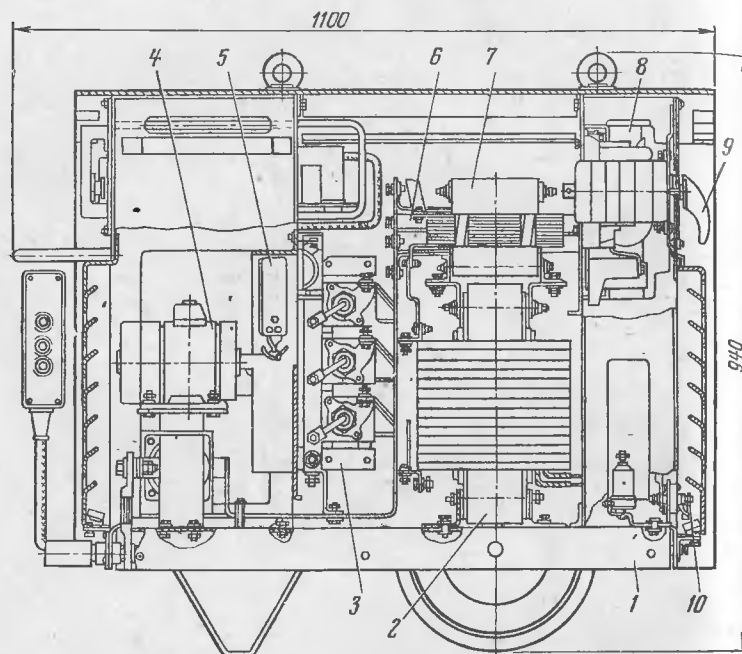
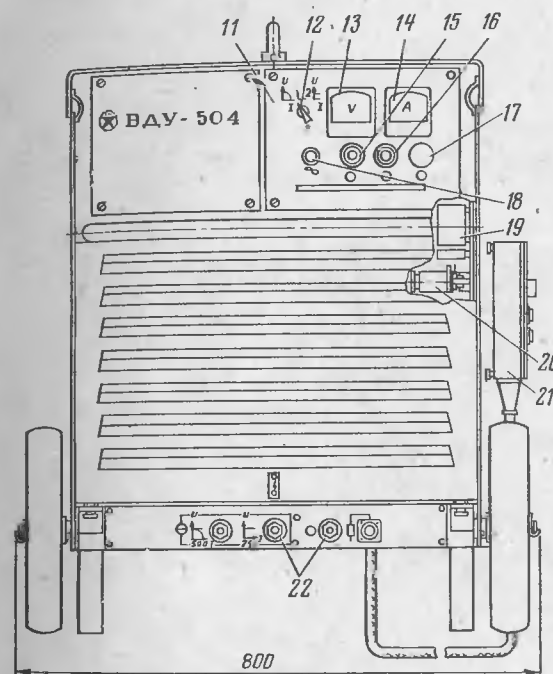


Рис. 2-12. Сварочный выпрямитель ВДУ-504.

но соединять в звезду или треугольник при помощи переключателя 9.

Силовой вентильный блок 3 состоит из шести тиристоров, собранных по шестифазной схеме с уравнительным реактором 7. Для охлаждения тиристоров служит вентилятор 5 с приводным асинхронным двигателем 4. Двигатель защищен плавкими предохранителями 20. Для оперативного включения и отключения выпрямителя служат контакторы (магнитные пускатели) 19. На передней стороне выпрямителя расположен блок управления 11. В нем находится аппаратура системы импульсно-фазового управления тиристорами, а на лицевой па-

нели блока установлены: пусковая кнопка 15, кнопка останова 16, амперметр сварочного тока 14, вольтметр сварочного напряжения 13, сигнальная лампа 18, показывающая наличие напряжения на выпрямителе; пере-



ключатель внешних характеристик 12, аварийная кнопка 17 (Стоп). Выпрямитель имеет также кнопочную станцию 21 для дистанционного включения выпрямителя.

Электрическая схема выпрямителя ВДУ-504 в упрощенном виде представлена на рис. 2-13, а. Напряжение на схему подается после включения автоматического выключателя ВА. После нажатия на кнопку КнП (Пуск) срабатывает контактор КЛ1 двигателя ДВ вентилятора. При нормальной работе вентилятора от потока воздуха включится ветровое реле РВ, что приведет к срабатыванию контактора КЛ2 и включению сварочного трансформатора Трс. Одновременно с включением двигателя ДВ подается напряжение на трансформаторы управления ТрУ1 и ТрУ2, а следовательно, на блок импульсно-фазового управления БИФУ тиристорами Т1—Т6, блок питания БП, блок управления БУ и в цепь питания датчика ДТ сварочного тока. Тем самым будет подано шестифазное напряжение

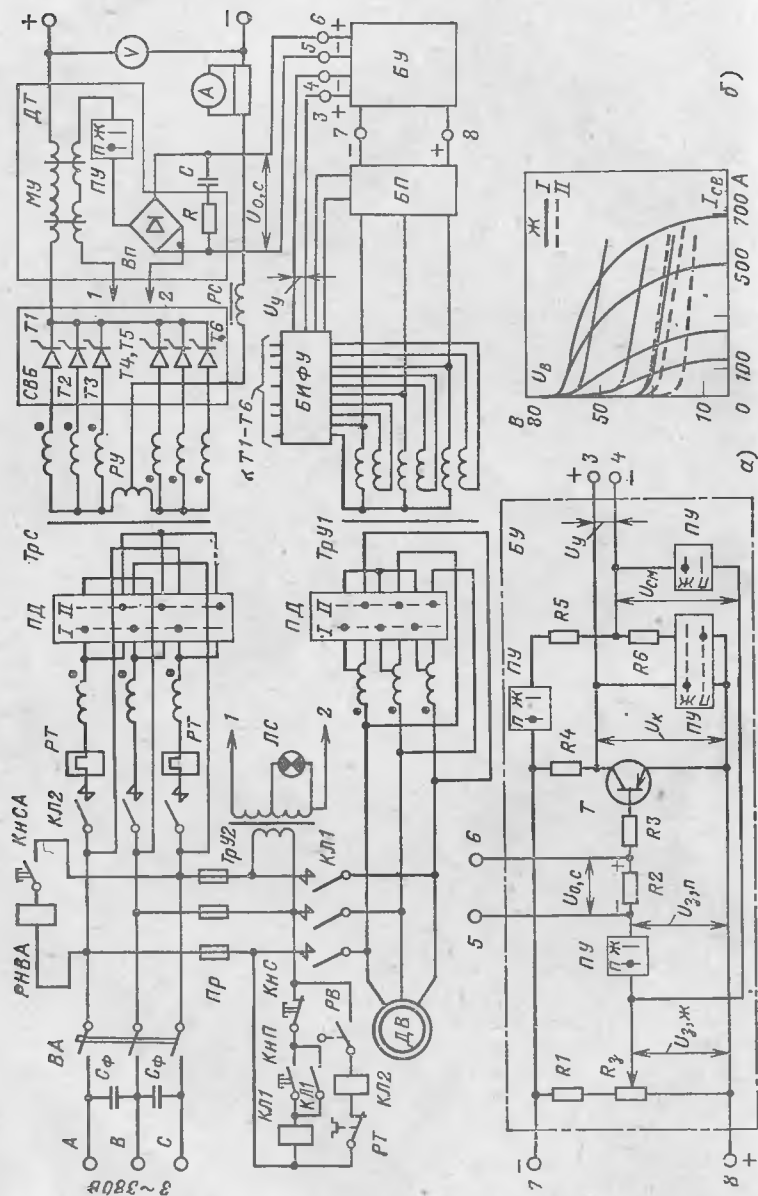


Рис. 2-13. Электрическая схема выпрямителя ВДУ-504 (а) и его внешние характеристики (б).

на выпрямительную схему, в силовую часть которой входят тиристоры силового вентиляльного блока СВБ, уравнивающий реактор РУ и сглаживающий реактор РС в цепи сварочного тока. Выпрямитель готов к работе.

Схема предусматривает возможность сварочных работ с падающими или жесткими характеристиками. Выбор вида характеристик производится переключателем ПУ на два положения: П (падающие) и Ж (жесткие). Для жестких характеристик имеется два диапазона: I — при $U_b = 50 \div 24$ В (для тока $I_{св,ном} = 500$ А); II — при $U_b = 25 \div 15$ В (также при $I_{св,ном} = 500$ А). Для диапазона I переключатель диапазонов ПД устанавливается в положение I, что отвечает соединению первичных обмоток ТрС в треугольник. Положение II переключателя соответствует диапазону II, при котором первичные обмотки ТрС соединяются в звезду. Одновременно переключаются в звезду и первичные обмотки трансформатора ТрУ1 для сохранения фазировки системы управления тиристорами. Для падающих характеристик используется только диапазон I.

При работе с падающими характеристиками (ПУ находится в положении II) нужный вид характеристик обеспечивается наличием отрицательной обратной связи по сварочному току $I_{св}$. Датчик тока ДТ представляет собой магнитный усилитель МУ с рабочими обмотками, питающимися от трансформатора ТрУ2, и выходом на постоянном токе (через выпрямитель Вп и фильтр R, C). Обмотка подмагничивания усилителя включена в цепь сварочного тока.

Напряжение обратной связи $U_{о.с.}$, примерно пропорциональное току $I_{св}$, подается в блок управления БУ. Здесь разность напряжения задания $U_{з.п}$ (для падающих характеристик), снимаемого с потенциометра R_3 , и напряжения $U_{о.с.}$ подается на базу транзистора Т. Напряжение управления U_y на входе блока БИФУ (величина U_y определяет угол отпирания тиристоров, а с ним и значение выпрямленного напряжения U_b) равно разности напряжения смещения $U_{см}$, снимаемого с резистора R_6 , и напряжения U_k перехода эмиттер—коллектор транзистора Т, т. е. $U_y = U_{см} - U_k$. В свою очередь, напряжение U_k есть усиленное транзистором напряжение базы $U_b = U_{з.п} - U_{о.с.}$

При малых токах $I_{св}$ напряжение $U_{о.с.}$ также мало, $U_b \approx U_{з.п}$, и транзистор практически полностью открыт ($U_k \approx 0$). Поэтому $U_y \approx U_{см}$, что отвечает наибольшему выпрямленному напряжению U_b . По мере увеличения $I_{св}$ напряжение U_b уменьшается, транзистор постепенно закрывается, значение U_k растет, что и приводит к уменьшению выпрямленного напряжения U_b тем сильнее, чем больше ток $I_{св}$. Изменяя $U_{з.п}$, можно получить семейства падающих характеристик $U_b = f(I_{св})$, изображенные на рис. 2-13, б.

Для получения жестких характеристик $U_b = f(I_{св})$ переключатель ПУ ставится в положение Ж. Датчик тока ДТ и транзистор Т отключаются. На вход БИФУ теперь поступает только напряжение задания для жестких характеристик $U_{з.ж}$ с потенциометра R_3 , т. е. $U_y = U_{з.ж}$, значение которого определяет положение жесткой характеристики. Семейства таких характеристик для обоих диапазонов I и II показаны на рис. 2-13, б.

Защита выпрямителя при к.з. осуществляется электромагнитным расцепителем автоматического выключателя ВА. Двигатель вентилятора и схема управления защищаются плавкими предохранителями Пр. Для защиты выпрямителя от перегрузок применены тепловые реле РТ. Защита тиристоров от коммутационных перенапря-

жений обеспечивается цепочками *RC* (на схеме не показаны). На входе схемы включены конденсаторы фильтра защиты от помех радиоприему *Сф*. При нажатии на аварийную кнопку *КнСА* (Стоп) срабатывает независимый расцепитель *РНВА*, отличающий выключатель *ВА*.

Сварочные выпрямители ВДУ-1001 и ВДУ-1601 на токи 1000 и 1600 А предназначены для сварки металлов в среде защитных газов и под флюсом на автоматах и полуавтоматах. Силовые блоки

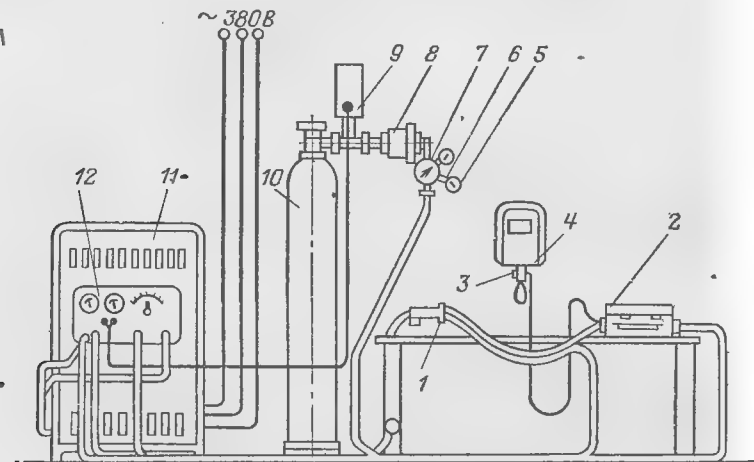


Рис. 2-14. Схема поста А-547Р для полуавтоматической сварки в среде углекислого газа.

этих выпрямителей выполнены по кольцевой схеме аналогично схеме на рис. 2-11. Обмотки силового трансформатора не переключаются. Схемы управления ВДУ-1001 и ВДУ-1601 в отличие от ВДУ-504 предусматривают при работе на жестких характеристиках стабилизацию выпрямленного напряжения с помощью отрицательной обратной связи по напряжению.

2-3. УСТАНОВКИ ДУГОВОЙ СВАРКИ

Рассмотрим конструктивное оформление и электрооборудование некоторых типичных установок дуговой сварки.

Ручная дуговая сварка. Электрооборудование сварочного поста состоит из источника тока (сварочного трансформатора, генератора или выпрямителя с падающими характеристиками), осциллятора (при необходимости), сварочных проводов и электрододержателя. Гиб-

кие сварочные провода марок ПРГ или ПРГН, одинарные или двойные, длиной не более 30 м служат для подвода тока от источника к свариваемой детали и электрододержателю. Для присоединения провода к детали применяют винтовые зажимы типа струбцин, в которые конец провода впаивают твердым припоем. Сварочный ток $I_{св}$ выбирают в зависимости от марки и диаметра электрода d_a с учетом положения сварного шва в пространстве, вида соединения, толщины и химического состава свариваемого металла. Ориентировочно $I_{св} = 50d_a$.

Полуавтоматическая сварка в углекислом газе. Схема поста с полуавтоматом А-547Р для сварки тонкого металла (толщиной до 3 мм) электродной проволокой с $d_a = 0,8 \div 1,0$ мм постоянным током обратной полярности приведена на рис. 2-14. На рабочем месте сварщика располагается газозлектрическая горелка 1 с гибким шлангом, подающий механизм 2, щиток 4 сварщика с пусковой кнопкой 3. Газ в горелку 1 поступает из баллона 10 с жидкой углекислотой через подогреватель газа 9, осушитель газа 8, редуктор 7 и переходный штуцер 6 с манометром 5. На корпусе источника сварочного тока 11 размещен пульт управления 12. В качестве источника тока с жесткой характеристикой используются генераторы типов ПСТ, ПС или ПСУ, выпрямители типов ВДУ и ВС (на рис. 2-14 показан выпрямитель типа ВС).

Механизм подачи электродной проволоки конструктивно оформлен в виде чемодана, в котором находятся основные узлы механизма: двигатель постоянного тока, редуктор, катушка для проволоки, направляющие ролики для подачи проволоки. Скорость подачи регулируется двумя способами: плавно изменением частоты вращения двигателя и ступенчато сменой подающих роликов. Гибкий шланг присоединен к механизму подачи через специальный токосъемник и имеет внутри направляющий проволоку канал со стальной спиралью. На другом конце шланга укреплен горелка.

Принципиальная электрическая схема полуавтомата А-547Р показана на рис. 2-15. Двигатель *Д* смешанного возбуждения (обмотки *ОВ1* и *ОВ2*) и последовательная обмотка электромагнитной муфты сцепления *ЭМ* подключаются к источнику питания *ИСТ* контактором *КС*. Двигатель работает с постоянно введенным в цепь якоря резистором *Р*. Регулирование частоты вра-

щения двигателя производится реостатом $R_{рег}$ в цепи параллельной обмотки возбуждения $ОВ1$. Напряжение на схему, в том числе и на подогреватель газа $ПГ$, подается выключателем $В$. Контроль за режимом сварки осуществляется по вольтметру V и амперметру A , установленным вместе с реостатом $R_{рег}$ и выключателем $В$ на пульте управления.

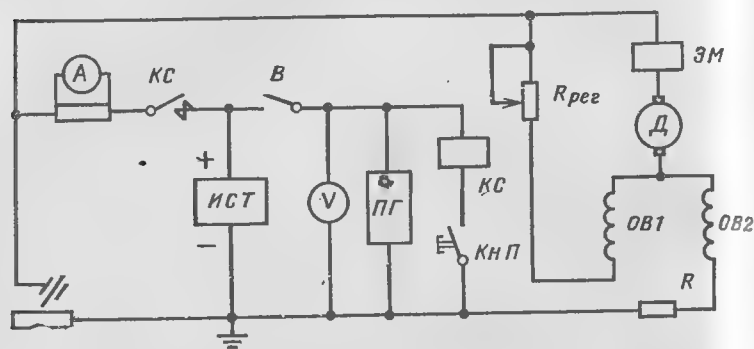


Рис. 2-15. Электрическая схема полуавтомата А-547Р.

После замыкания электродной проволоки на изделие и нажатия на кнопку $КНП$ включается контактор $КС$. Сварочная цепь замыкается, включаются электродвигатель $Д$ и электромагнитная муфта $ЭМ$, сцепляющая валы двигателя и редуктора. Начинается подача электродной проволоки с постоянной скоростью в зону дуги и устойчивый процесс сварки. При отпускании кнопки $КНП$ контакт $КС$ размыкается, протекание сварочного тока прекращается, отключаются муфта $ЭМ$ и двигатель $Д$.

Применяют также полуавтоматы других типов, в том числе ранцевый полуавтомат ПДГ-302 из новой унифицированной серии ПДГ, у которого подающий механизм расположен в ранце сварщика. Масса ранца около 5 кг.

Полуавтоматы серии ПДГ изготавливаются с подающим механизмом, регулируемый электропривод постоянного тока которого выполнен по системе тиристорный преобразователь — двигатель. Подающий механизм может быть установлен на тележке или на турели с поворотом на 360° , что позволяет вести сварку на расстоянии до 3 м от места расположения автомата.

Автоматическая сварка под флюсом. К основному оборудованию установок автоматической сварки под слоем флюса относятся: источники питания, шкаф управления, гибкие провода, сварочные аппараты — подвесные сварочные головки (неподвижные и самоходные) и сварочные тракторы.

Наибольшее распространение получили универсальные сварочные тракторы (рис. 2-16). Сварочный трактор представляет собой самоходную каретку 1 с механизмом передвижения 2, на которой

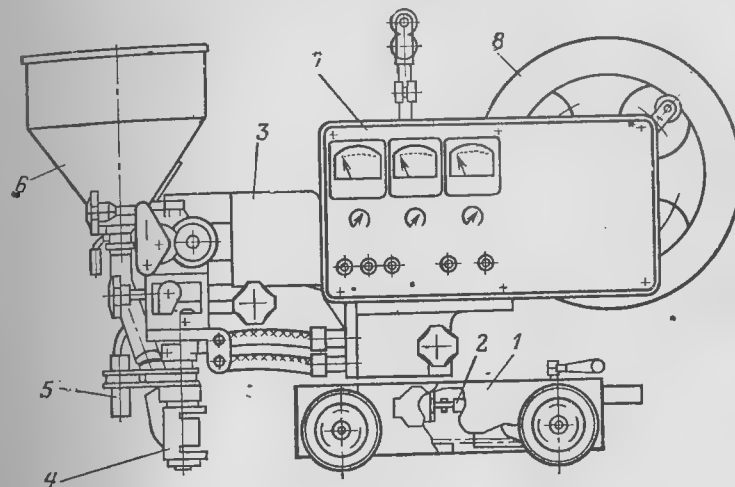


Рис. 2-16. Сварочный трактор.

смонтированы сварочная головка 3 с механизмом подачи электродной проволоки, пульт управления 7, кассета 8 для электродной проволоки, бункер 6 для флюса и световой указатель 5. Вдоль шва трактор движется непосредственно по свариваемым деталям или по специальным легким направляющим. Для контроля за движением трактора служит световой указатель 5. Флюс высыпается в зону сварки через воронку 4, внутри которой расположен направляющий мунштук для электродной проволоки. Показанный на рис. 2-16 сварочный трактор относится к новой унифицированной серии автоматов АДФ для сварки постоянным и переменным током под флюсом. В пульте управления 7 размещено все электрооборудование для приводов подачи проволоки и перемещения каретки. Приводы выполнены с двигателями постоянного тока с тиристорным и транзисторным управлением.

Сварочные тракторы других типов выполнены примерно по той же конструктивной схеме, но все оборудование для управления приводами размещается в отдельном шкафу управления. Имеются также сварочные тракторы с приводами от двух асинхронных двигателей и с одним двигателем на оба привода.

Автоматические сварочные головки и сварочные тракторы должны обеспечивать устойчивый режим сварки, для чего необходимо

равенство между скоростью подачи электродной проволоки и скоростью ее плавления. Различают автоматы с постоянной скоростью подачи проволоки (такой вариант получил наибольшее распространение) и с автоматическим регулированием скорости подачи проволоки в зависимости от длины дуги или напряжения на дуге, поскольку для сварки под флюсом эти величины пропорциональны друг другу [см. формулу (2-1)].

При постоянной скорости подачи используется свойство саморегулирования электрической дуги. Например, с увеличением длины дуги сварочный ток уменьшается, а следовательно, уменьшается и скорость плавления проволоки, что приводит к восстановлению прежней длины дуги. Поэтому при постоянной скорости подачи целесообразно применять источники питания с падающей или даже с жесткой внешней характеристикой; это повышает интенсивность саморегулирования дуги.

У варианта автоматического регулирования скорости подачи проволоки по напряжению на дуге процесс восстановления режима протекает иначе. Здесь необходим источник с крутопадающими внешними характеристиками. При увеличении, например, напряжения на дуге система управления приводом подачи обеспечивает такое увеличение скорости подачи, при которой восстанавливается прежнее напряжение дуги. С этой целью привод подачи нужно выполнять с питанием двигателя от управляемого преобразователя (генератора, тиристорного преобразователя и др.) и обратной отрицательной связью по напряжению дуги. Такая система получается, конечно, намного сложнее системы с постоянной скоростью подачи проволоки, в которой можно использовать асинхронный двигатель с короткозамкнутым ротором и с механическим ступенчатым регулированием скорости подачи для установки разных значений этой скорости.

2.4. УСТАНОВКИ КОНТАКТНОЙ СВАРКИ

Принципы контактной сварки описаны в § 2-1. Как пример установки контактной сварки, рассмотрим машину типа МШ-3201 для роликовой (шовной) сварки. На рис. 2-17 показан ее общий вид. Машина предназначена для сварки изделий из стали как поперечными, так и продольными швами (при небольшой переналадке). Номинальная мощность машины 354 кВт·А, питание от сети 380 В, номинальный сварочный ток 32 кА при вторичном напряжении 8,56 В и $P_{\text{ном}} = 50\%$.

Машина состоит из следующих узлов: сварной станины 3, направляющего устройства 9, пневматического привода сжатия 10, верхнего 8 и нижнего 6 роликовых электродных устройств; нижнего кронштейна 4 с токоподводом 5, верхнего токоподвода с гибкими шинами 7, привода вращения верхнего ролика с асинхронным двигателем 18, электромагнитной муфтой скольжения 17, втулочно-пальцевой муфтой 13, тахогенератором 14, редуктором 12 и карданным валом 11, блока управле-

ния 2 приводом вращения и переключателя скорости 15, панели управления 16 сварочным циклом, сварочного трансформатора 19, игнитронного прерывателя 1 сварочного тока. Ролики машины, сварочный трансформатор, токоподводы и игнитроны охлаждаются проточной водой.

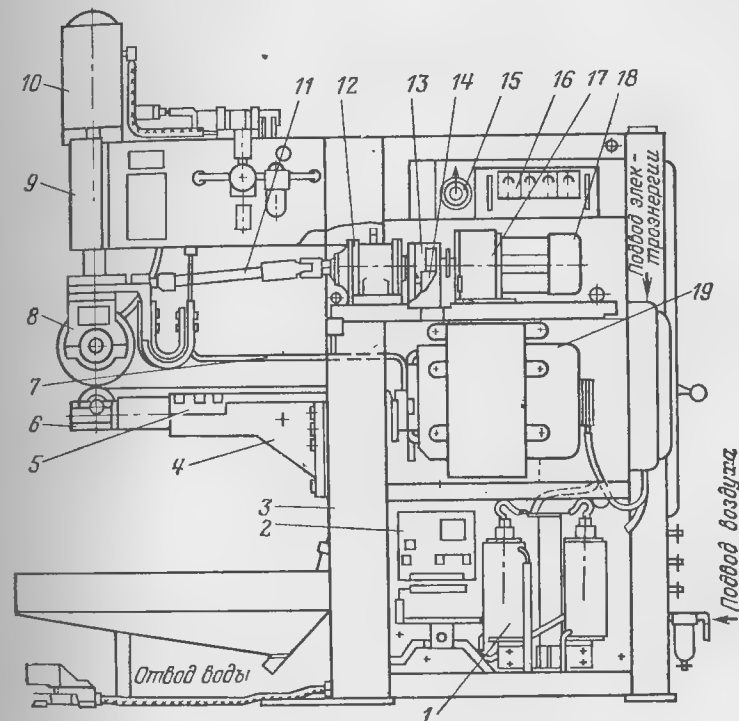


Рис. 2-17. Машина для шовной сварки МШ-3201.

Сварочный трансформатор — однофазный, со ступенчатым регулированием напряжения на вторичной стороне путем переключения отпаяк первичной обмотки. Угловую скорость роликов регулируют, соответственно изменяя угловую скорость ротора электромагнитной муфты скольжения. Это обеспечивается автоматическим регулированием тока возбуждения муфты в функции угловой скорости ее ротора, задаваемой тахогенератором.

Большинство машин контактной сварки переменного тока — однофазные. Их сварочные трансформаторы имеют магнитопроводы стержневого или броневые типа, набранные из пластин или витые из холоднокатаной ленты. Первичная обмотка трансформатора — дисковая из медного провода, изолированного стекловолокном. Вторичная обмотка представляет собой один виток или

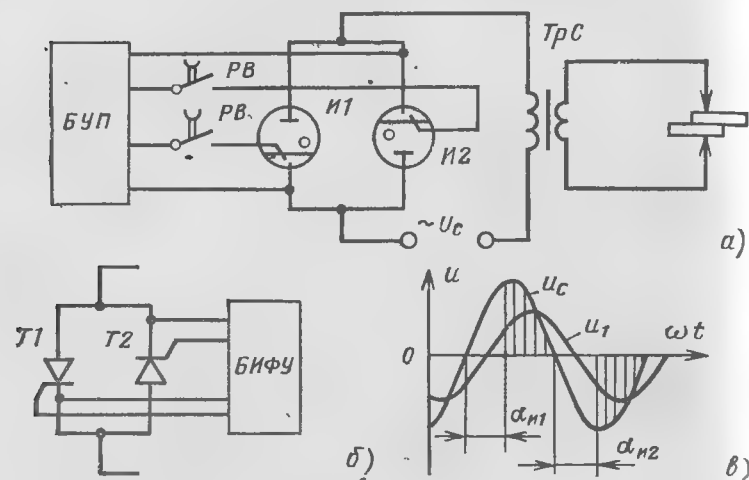


Рис. 2-18. Принципиальные схемы силовых цепей машин контактной сварки.

несколько витков, соединенных параллельно. Конструктивно вторичная обмотка может быть выполнена по-разному. Ее витки изготовляют литыми из алюминиевого сплава с внутренней стальной трубкой для охлаждающей воды, сварными из медных полос или цельноштампованными из медных листов с припаянными по периметру витков медными трубками для охлаждения воды. Параллельные витки соединены между собой при помощи медных контактных колодок. Обмотки трансформатора после сборки заливают эпоксидным компаундом.

Для получения высококачественной точечной или шовной сварки при высокой производительности необходимо выдерживать заданное значение сварочного тока, строго определенное время его протекания и время паузы для каждого цикла сварки. Это достигается при

помощи регуляторов цикла сварки и контакторов, включающих и отключающих сварочный ток. Коммутация тока производится в цепи первичной обмотки сварочного трансформатора. В современных машинах применяются, как правило, не электромагнитные, а статические контакторы: игнитронные и тиристорные.

На рис. 2-18, а приведена упрощенная схема силовой цепи машины контактной сварки с однофазным трансформатором TrC и игнитронным контактором, который состоит из двух встречно - параллельно включенных игнитронов $И1$ и $И2$. Для управления поджиганием игнитронов служит блок БУП. В общем случае игнитронный контактор позволяет не только включать и отключать цепь тока, но и регулировать сварочный ток путем изменения фазы подачи поджигающих импульсов игнитронов $И1$ и $И2$ относительно начала полуволн их анодных напряжений, т.е. угла $\alpha = \alpha_{И1} = \alpha_{И2}$ (рис. 2-18, в). Чем больше угол α , тем меньше напряжение U_1 (первая гармоника) прикладывается к первичной обмотке трансформатора TrC , а значит, тем меньше будет напряжение и ток вторичной обмотки. Поджигание игнитронов производится при помощи схем БУП с тиристорами [11]. В современных машинах все больше применение находят тиристорные контакторы (рис. 2-18, б). Они надежнее игнитронных контакторов и удобнее в эксплуатации.

Схема простейшего регулятора одной операции «Импульс» сварочного цикла, т.е. времени протекания сварочного тока, показана на рис. 2-19. Регулятор представляет собой электронное реле времени на триоде T . При нажатии пусковой кнопки $КнП$ включается реле $РП2$, своими контактами блокирует кнопку и воздействует на командные цепи $КЦ$, в том числе и на цепи включения поджигания игнитронов (см. рис. 2-18, а). Происходит включение сварочного тока. Еще до нажатия на кнопку $КнП$ конденсатор C заряжался сеточным током триода T по цепи через контакт $РП1$ и катушку

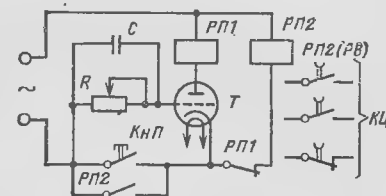


Рис. 2-19. Принципиальная электрическая схема электронного регулятора времени сварки.

РП2 в те полупериоды, когда зажим питания положителен по отношению к катоду триода. С момента замыкания контакта кнопки *КнП* начнется разряд конденсатора *С* на реостат *Р*. При этом триод *Т* будет заперт, так как его сетка отрицательна по отношению к катоду. По мере разряда конденсатора отрицательный потенциал сетки уменьшается и через некоторое время станет равным потенциалу отпирания триода. Появится анодный ток триода и сработает реле *РП1*, которое отключит реле *РП2*. Это приведет к прекращению протекания сварочного тока и снятию воздействия на другие командные цепи. Схема готовится к выполнению повторной операции. Регулирование выдержки времени реле осуществляется изменением темпа спадания тока разряда конденсатора *С* при помощи реостата *Р*. В таком виде схема используется для машин точечной сварки. Очевидно, что при помощи двух реле времени можно составить схему регулятора двух операций сварочного цикла: «Импульс» и «Пауза» для машин шовной сварки.

В современных машинах точечной и шовной сварки применяются регуляторы сварочного цикла, построенные на бесконтактных логических элементах. Схема такого регулятора работает на принципе отсчета заданного числа тактовых импульсов, вырабатываемых в начале каждой полусинусоиды (положительной и отрицательной) однофазного напряжения питания машины, т. е. имеющих частоту 100 Гц. Следовательно, интервал между импульсами равен 0,01 с. В момент, когда число отсчитанных импульсов будет равно заданному их числу (т. е. по истечении заданного времени операции «Импульс» или соответственно «Пауза»), счетная схема выдает команды на отключение или включение статического контактора [11].

Глава третья

ЭЛЕКТРООБОРУДОВАНИЕ МОСТОВЫХ КРАНОВ

3-1. ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ О МОСТОВЫХ КРАНАХ

Кранами называются грузоподъемные устройства, служащие для вертикального и горизонтального перемещения грузов на небольшие расстояния. По особенно-

стям конструкции, связанным с назначением и условиями работы, краны разделяются на мостовые, порталные, козловые, башенные и др. В цехах предприятий электромашиностроения наибольшее распространение получили мостовые краны, с помощью которых производятся подъем и опускание тяжелых заготовок, деталей и узлов машин, а также их перемещение вдоль и поперек цеха. Вид мостового крана в основном определяется спецификой цеха и его технологией, однако многие узлы кранового оборудования, например механизмы подъема и передвижения, выполняются однотипными для различных разновидностей кранов.

На рис. 3-1 показан общий вид нормального (крюкового) мостового крана. Несущая сварная конструкция крана представляет собой мост с двумя главными балками 25 коробчатого сечения (или с решетчатыми фермами), перекинутыми через пролет цеха, и концевыми балками 2 и 13, на которых установлены ходовые колеса 15. Колеса перемещаются по рельсам 16 подкранового пути, закрепленным на балках опорных конструкций 1 в верхней части цеха. Привод ходовых колес осуществляется от электродвигателя 19 через редуктор 14 и трансмиссионный вал 18.

Вдоль моста проложены рельсы 20, по которым на колесах 12, приводимых во вращение электродвигателем 9 через редуктор 10, перемещается тележка 5 с подъемной лебедкой. На барабан 6 лебедки наматываются подъемные канаты 24 с подвешенным к ним на блоках 22 крюком 23 для захвата грузов. Барабан приводится во вращение электродвигателем 7 через редуктор 8.

Управление работой механизмов крана производится из кабины 27 оператора-крановщика, в которой установлены контроллеры или командоконтроллеры 26 — органы ручного управления электроприводами механизмов. Электроаппаратура управления приводами размещается в шкафах 4, установленных на мосту крана. Здесь же располагаются ящики резисторов 21. Для проведения операций обслуживания механизмов и электрооборудования предусмотрен выход на мост из кабины через люк 3.

Электроэнергия к крану подводится при помощи скользящих токосъемников от главных троллеев 17, уложенных вдоль подкранового пути. Для подвода питания к электрооборудованию, размещенному на тележке 5,

служат вспомогательные троллеи 11, идущие вдоль моста.

В зависимости от вида транспортируемых грузов на мостовых кранах используют различные грузозахватывающие устройства: крюки, магниты, грейферы, клещи и т. п. В связи с этим различают краны крюковые, магнитные, грейферные, клещевые и т. д. Наибольшее рас-

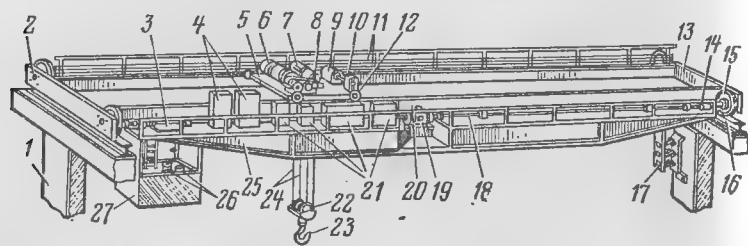


Рис. 3-1. Общий вид мостового крюкового крана.

пространение получили краны с крюковой подвеской или с подъемным электромагнитом, служащим для транспортировки стальных листов, скрапа, стружки и других ферромагнитных материалов. Питание электромагнита, подвешиваемого к крюку, осуществляется с помощью гибкого кабеля, для намотки которого на кране установлен кабельный барабан, приводимый во вращение через передачу от барабана лебедки.

У всех типов кранов основными механизмами для перемещения грузов являются подъемные лебедки и механизмы передвижения. Это позволяет выделить ряд общих вопросов электропривода кранов: расчет статических нагрузок, выбор двигателей по мощности, анализ режимов работы, выбор системы электропривода и другие.

На рис. 3-2 изображены кинематические схемы механизмов мостовых кранов. Так как двигатели обычно имеют угловую скорость, значительно большую, чем скорость подъемного барабана или ходовых колес моста (тележки), то движение к рабочим органам механизмов крана передается через редукторы. Для механизмов подъема наибольшее применение получили схемы с полиспастом Π (рис. 3-2, а), при помощи которого движение от барабана B передается крюку K . У полиспаста на схеме

рис. 3-2, а передаточное число равно 4. На рис. 3-2, в представлена схема механизма тележки, которая обычно имеет четыре ходовых колеса. Два из них, соединенные валом, приводятся в движение через редуктор P от дви-

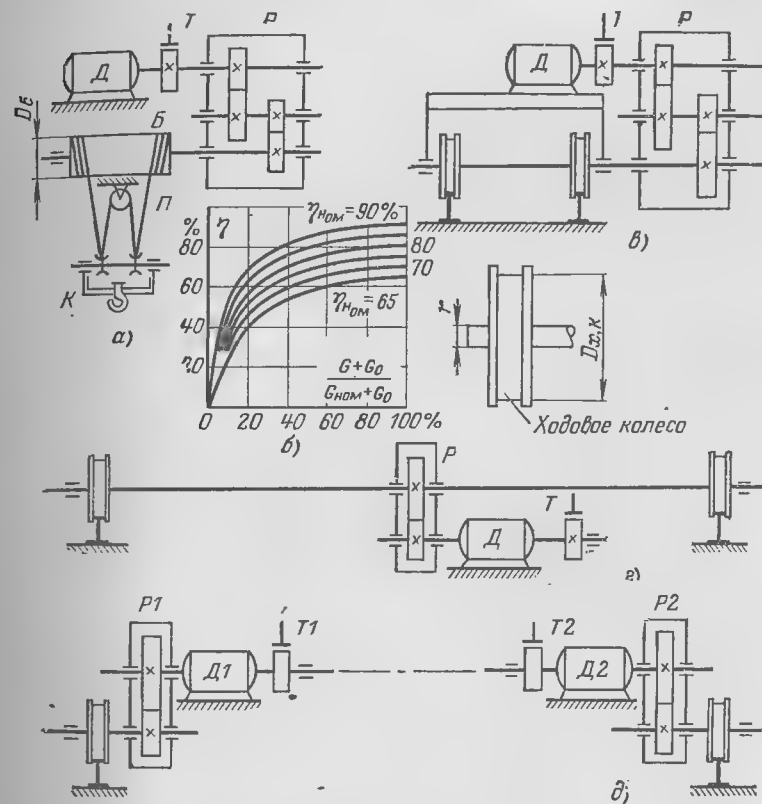


Рис. 3-2. Кинематические схемы механизмов мостовых кранов подъема (а), передвижения тележки (в), передвижения моста с общим и раздельным приводом ходовых колес (г) и (д) и кривые зависимости КПД крановых механизмов от нагрузки (б).

гателя D . Передача движения к ходовым колесам концевых балок от двигателя, установленного на мосту, может осуществляться через редуктор, расположенный в средней части моста (рис. 3-2, г). Широко применяется также схема механизма передвижения моста с раздельным при-

водом ходовых колес (рис. 3-2, д). Каждый механизм крана имеет механический тормоз T , который устанавливается на соединительной муфте между двигателем и редуктором или на тормозном шкиве на противоположном конце вала двигателя. Номинальные скорости движения крюка 0,15—0,2 м/с, тележки 0,65—1 м/с, моста 2,0—2,3 м/с.

По грузоподъемности мостовые краны условно разделяют на малые (масса груза 5—10 т), средние (10—25 т) и крупные (свыше 50 т). Обычно на тележках мостовых кранов грузоподъемностью свыше 15 т устанавливают два механизма подъема: главный — для подъема тяжелых грузов с малой скоростью, и вспомогательный — для подъема легких грузов с большой скоростью (с соотношением грузоподъемности, например, 20/5, 30/5, 50/10 т). Вызвано это тем, что поднимать грузы малого веса тяжелым крюком невыгодно, так как расходуется лишняя электроэнергия, а производительность невысока.

3-2. РЕЖИМЫ РАБОТЫ И ОСОБЕННОСТИ ЭЛЕКТРООБОРУДОВАНИЯ КРАНОВ

Нагрузка кранов, как правило, изменяется в широких пределах: для механизмов подъема — от 0,12 до 1,0, а для механизмов передвижения — от 0,5 до 1,0 номинального значения. Характерно для кранов также то, что их механизмы работают в повторно-кратковременном режиме, когда относительно непродолжительные периоды работы, связанные с перемещением грузов, чередуются с небольшими паузами на загрузку или разгрузку и закрепление груза. Поскольку на кранах применяется многодвигательный привод, и двигатели через передачи связаны с механизмами подъема или передвижения, то они, как и другие элементы электрооборудования кранов, работают также в повторно-кратковременном режиме при большом числе включений в час.

Согласно действующим в СССР стандартам все краны по режимам работы механического и электрического оборудования делятся на четыре категории, определяющие степень их использования, характер нагрузки и условия работы: Л — легкий режим работы, С — средний, Т — тяжелый и ВТ — весьма тяжелый. Основными показателями, по которым судят о режиме работы, являются продолжительность включения двигателя механизма ПВ,

%, число включений двигателя в час h , коэффициенты использования механизмов по грузоподъемности $k_{гр}$, в течение года k_T и в течение суток k_c :

$$ПВ = t_p \cdot 100 / (t_p + t_0);$$

$$k_{гр} = m_c / m_{ном};$$

$$k_T = A / 365;$$

$$k_c = B / 24,$$

где t_p — время работы двигателя за цикл; t_0 — суммарное время пауз за цикл; m_c — масса груза, перемещаемого за смену; $m_{ном}$ — номинальная грузоподъемность; A — число дней работы механизма в году; B — число часов работы механизма в сутки.

При вычислении ПВ время цикла $t_{ц} = t_p + t_0$ не должно превышать 10 мин.

Легкому режиму работы соответствуют $ПВ = 10 \div 15\%$ и $h = 60 \div 100$ (строительно-монтажные краны), среднему $ПВ = 15 \div 25\%$ и $h = 120 \div 200$ (краны механических и сборочных цехов машиностроительных заводов), тяжелому $ПВ = 25 \div 40\%$ и $h = 300 \div 400$ (краны производственных цехов и складов на заводах с крупносерийным производством), весьма тяжелому — $ПВ = 40 \div 60\%$ и $h = 400 \div 600$ (технологические краны металлургических заводов). Значения коэффициентов использования приведены в [21].

Помимо тяжелых условий работы при большом числе включений в час электрооборудование мостовых кранов обычно находится в условиях тряски, высокой влажности воздуха, резких колебаний температуры и запыленности помещений. В связи с этим на кранах применяется специальное электрооборудование, приспособленное к условиям работы кранов и отличающееся повышенной надежностью.

Основное крановое электрооборудование: электродвигатели, силовые, магнитные и командные контроллеры, пускорегулировочные резисторы, тормозные электромагниты, конечные выключатели и другие — в значительной степени стандартизовано. Поэтому различные по конструкции краны комплектуются обычно таким электрооборудованием по типовым схемам.

Электрооборудование мостовых кранов выполняется и эксплуатируется в соответствии с «Правилами устройства и безопасной эксплуатации грузоподъемных кра-

нов». Рабочее напряжение сети, питающей краны, не должно превышать 500 В. В соответствии с этим на кранах применяется электрооборудование на 220 или 380 В переменного тока и 220 или 440 В постоянного тока. Напряжение 440 В используется только в силовых цепях кранов большой грузоподъемности.

Для защиты питающих проводов и электродвигателей от токов к. з. и значительных перегрузок (свыше 225%) на кранах предусматривается максимальная токовая защита с помощью реле максимального тока или автоматических выключателей. Плавкие предохранители используют только для защиты цепей управления. Тепловая защита на кранах обычно не применяется, так как в условиях повторно-кратковременного режима работы двигателей она может приводить к ложным отключениям. Для предотвращения самозапуска двигателей, т. е. самопроизвольного пуска их при восстановлении напряжения сети после перерыва в электроснабжении, в электрических схемах кранов используют совместно с «нулевой» защитой блокировку нулевой позиции контроллеров. Обязательным является наличие конечных выключателей для автоматической остановки механизмов при подходе их к крайним положениям. Для безопасности обслуживания электрооборудования люк для выхода из кабины на мост снабжается конечным выключателем, снимающим напряжение со вспомогательных троллеев при открывании люка. Все токоведущие части в кабине крана полностью ограждаются. Механизмы кранов оснащаются тормозами замкнутого типа с электромагнитами, которые автоматически растормаживают механизм при включении и затормаживают его при отключении двигателя. Металлоконструкции кранов и все металлические части электрооборудования, которые могут оказаться под напряжением из-за порчи изоляции, должны быть заземлены. Соединение с контуром заземления цеха осуществляется через подкрановые пути.

На рис. 3-3 в качестве примера приведена структурная схема одного из вариантов электрооборудования мостового крана, работающего на переменном токе. Питание от цеховой сети подается на кран через главные троллеи, к токосъемникам которых подключены находящиеся в кабине защитная панель 15 и щиток 17 вспомогательных цепей 18 (освещения и сигнализации) и 19 (аварийного освещения). В свою очередь к защитной

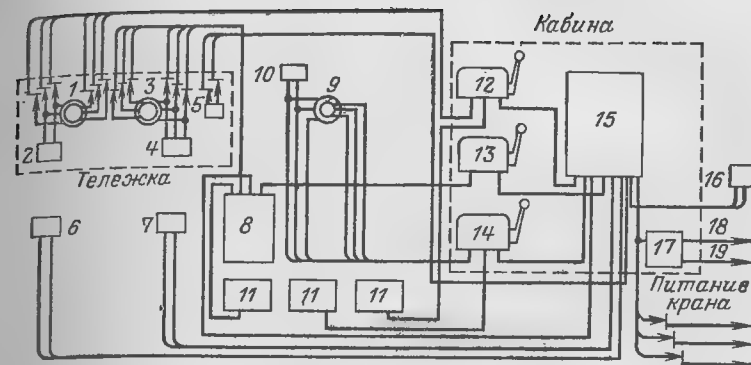


Рис. 3-3. Структурная схема электрооборудования мостового крана.

панели подключены: а) через вспомогательные троллеи — электрооборудование, размещенное на тележке: электродвигатель 1 и электромагнит тормоза 2 тележки, электродвигатель 3 и электромагнит тормоза 4 подъема, конечный выключатель подъема 5; б) электрооборудование, расположенное на мосту: электродвигатель 9 и электромагнит тормоза 10 моста, шкаф 8 магнитного контроллера привода подъема, пускотормозные резисторы 11, конечные выключатели 6 (моста) и 7 (тележки); в) органы управления работой крана: командоконтроллер привода подъема 13, контроллеры 12 (привода тележки) и 14 (привода моста), а также конечный выключатель люка кабины 16.

3.3. ТРЕБОВАНИЯ К ЭЛЕКТРОПРИВОДУ МЕХАНИЗМОВ КРАНА

Для выбора системы электропривода необходимо четко представлять себе технологические требования к приводу того механизма, для которого он выбирается. Установление таких требований облегчает выбор оптимальной системы электропривода, т. е. такой, которая наиболее проста и дешева из всех систем, обеспечивающих требуемые эксплуатационные показатели механизма.

Для качественного выполнения подъема, спуска и перемещения грузов электропривод крановых механизмов должен удовлетворять следующим основным требованиям:

1. Регулирование угловой скорости двигателя в срав-

нительно широких пределах (для обычных кранов до 4:1, для специальных кранов — до 10:1 и более) в связи с тем, что тяжелые грузы целесообразно перемещать с меньшей скоростью, а пустой крюк или ненагруженную тележку — с большей скоростью для увеличения производительности крана. Пониженные скорости необходимы также для осуществления точной остановки транспортируемых грузов с целью ограничения ударов при их посадке и облегчают работу оператора, так как не требуют многократного повторения пусков для снижения средней скорости привода перед остановкой механизма.

2. Обеспечение необходимой жесткости механических характеристик привода, особенно регулировочных, с тем чтобы низкие скорости почти не зависели от груза.

3. Ограничение ускорений до допустимых пределов при минимальной длительности переходных процессов. Первое условие связано с ослаблением ударов в механических передачах при выборе зазора, с предотвращением пробуксовки ходовых колес тележек и мостов, с уменьшением раскачивания подвешенного на канатах груза при интенсивном разгоне и резком торможении механизмов передвижения; второе условие необходимо для обеспечения высокой производительности крана.

4. Реверсирование электропривода и обеспечение его работы как в двигательном, так и в тормозном режиме.

3-4. ВЫБОР РОДА ТОКА И ТИПА ЭЛЕКТРОПРИВОДА

Выбор рода тока для электрооборудования крана имеет важное значение, поскольку с ним связаны такие показатели, как технические возможности привода, капиталовложения и стоимость эксплуатационных расходов, масса и размеры оборудования, его надежность и простота обслуживания.

Для привода крановых механизмов возможно применение различных двигателей и систем электропривода. Их выбор определяется грузоподъемностью, номинальной скоростью движения, требуемым диапазоном регулирования скорости привода, жесткостью механических характеристик, числом включения в час и др. В настоящее время на кранах чаще всего применяют простые системы электропривода, в которых двигатели получают питание от сети переменного или постоянного тока не-

изменного напряжения через пускорегулировочные резисторы.

Привод с асинхронными двигателями с к. з. ротором применяется для механизмов кранов небольшой мощности ($\leq 10-15$ кВт), работающих в легком режиме. Если необходимо регулировать скорость или обеспечить точную остановку механизма, то можно использовать двух- или трехскоростные двигатели.

Наибольшее распространение на кранах получил привод с асинхронными двигателями с фазным ротором и ступенчатым регулированием угловой скорости путем изменения сопротивления в цепи ротора. Такой привод достаточно прост, надежен, допускает большое число включений в час и применяется при средних и больших мощностях. С помощью резисторов в цепи ротора можно в широких пределах изменять момент при пуске, получать желаемые ускорения и плавность пуска, уменьшать токи и потери энергии в двигателе при переходных процессах, а также получать пониженные угловые скорости. Однако этот привод не обеспечивает необходимую жесткость регулировочных характеристик и устойчивую работу при пониженных скоростях. Он неэкономичен вследствие значительных потерь энергии в пускорегулировочных сопротивлениях; кроме того, имеет место повышенный износ двигателя, электромеханических тормозов и контактной аппаратуры управления.

Если к электроприводу крановых механизмов предъявляются повышенные требования в отношении регулирования скорости, а также необходимо обеспечить низкие устойчивые угловые скорости в различных режимах, то применяют двигатели постоянного тока. Для механизмов подъема приводы на постоянном токе с питанием от сети обычно выполняются с двигателями последовательного возбуждения, которые допускают большие перегрузки по моменту и имеют мягкую естественную характеристику, что позволяет поднимать и опускать легкие грузы с повышенной скоростью. Двигатели параллельного возбуждения применяют в тех случаях, когда необходимо иметь достаточно жесткие механические характеристики при низких угловых скоростях, а также обеспечить работу двигателя на естественной характеристике в генераторном режиме.

Если требуется обеспечить повышенный диапазон регулирования скорости привода, ограничение стопорного

момента и плавное протекание переходных процессов двигателя при напряженном режиме работы кранового механизма, то применяют регулируемый электропривод по системе Г—Д. Использование такой системы при больших мощностях двигателей позволяет облегчить аппаратуру управления и повысить надежность работы привода.

Однако использование двигателей постоянного тока влечет за собой необходимость преобразования переменного тока в постоянный, что до недавнего времени осуществлялось с помощью машинных преобразователей и связано с увеличением капитальных затрат, дополнительными потерями энергии и эксплуатационными расходами.

На кранах получили некоторое распространение также и сложные системы электроприводов с асинхронными двигателями: с вихревым тормозным генератором, с дросселями насыщения, двухдвигательный привод с регулированием скорости путем наложения механических характеристик и др. [21].

При выборе рода тока для конкретного случая необходимо проанализировать требования к приводу и возможность их выполнения существующими системами на переменном токе.

С развитием силовой полупроводниковой техники открываются новые возможности применения двигателей постоянного и переменного тока в электроприводах крановых механизмов с питанием от тиристорных преобразователей, устанавливаемых непосредственно на кранах и подключаемых к сети переменного тока. Эти преобразователи имеют высокие энергетические и экономические показатели, повышенную механическую прочность и долговечность, нетребовательны в эксплуатации.

При питании от общей сети переменного или постоянного тока для крановых электродвигателей применяется контроллерное или контакторное управление. При контроллерном управлении все переключения в главных цепях двигателя производятся контактами силового контроллера, управление которым, особенно при интенсивном режиме работы, требует от крановщика значительных усилий и напряжения. Контактное управление осуществляется с помощью магнитного контроллера, состоящего из командоконтроллера и контакторно-релейной панели. Переключения в главных цепях двигателя про-

изводятся контакторами, а крановщик управляет командоконтроллером. При контакторном управлении процессы пуска, торможения и реверса автоматизируются, что значительно облегчает условия работы крановщика в напряженных режимах. В ряде случаев на одном кране целесообразно применить как контроллерное управление для механизмов с менее напряженным режимом работы, так и контакторное управление — последнее обычно для механизмов подъема.

3-5. РАСЧЕТ СТАТИЧЕСКИХ НАГРУЗОК ДВИГАТЕЛЕЙ МЕХАНИЗМОВ КРАНОВ

Статические нагрузки двигателей кранов создаются силами статического сопротивления, действующими в крановых механизмах, — силами тяжести и трения. Рассмотрим типичные случаи определения приведенных к валу двигателя статических нагрузок механизмов подъема и передвижения кранов.

Для механизма подъема характерен активный статический момент, который направлен против движения при подъеме груза и совпадает с ним по направлению при спуске. Кроме того, в реальных механизмах всегда присутствуют силы трения, создающие реактивный момент, который возрастает при увеличении нагрузки механизма.

Статическая мощность $P_{с.п.}$, кВт, на валу двигателя в установившемся режиме при подъеме затрачивается на перемещение груза и на преодоление потерь на трение:

$$P_{с.п.} = [(G + G_0) v_{п.}/\eta] \cdot 10^{-3}, \quad (3-1)$$

где G — сила тяжести поднимаемого груза, Н; G_0 — сила тяжести грузозахватывающего устройства, Н; η — общий КПД подъемного механизма, определяемый по кривым на рис. 3-2, б для соответствующих значений номинальной величины $\eta_{ном}$ (при $G = G_{ном}$) и в зависимости от степени загрузки механизма; $v_{п.}$ — скорость подъема груза, м/с.

Номинальные значения КПД крановых передач при опорах на подшипниках качения лежат в пределах: 0,8—0,85 — для механизмов подъема с цилиндрическими зубчатыми колесами и 0,65—0,7 с червячной передачей; 0,8—0,9 и 0,65—0,75 — соответственно для механизмов передвижения мостов и тележек.

При подъеме пустого крюка (грузозахватывающего устройства) статическая мощность, кВт

$$P_{c, \text{по}} = [G_0 v_{\text{по}} / \eta_0] \cdot 10^{-3}, \quad (3-2)$$

где $v_{\text{по}}$ — скорость подъема крюка, м/с; η_0 — КПД механизма при $G=0$.

В установившемся режиме спуска статическая мощность $P_{c, c}$, кВт, на валу двигателя равна разности мощностей, обусловленных действием силы тяжести опускаемого груза $P_{гр}$, кВт, и сил трения в механизме $P_{тр}$, кВт:

$$P_{гр} = (G + G_0) v_c \cdot 10^{-3}; \quad (3-3)$$

$$P_{тр} = \frac{G + G_0}{\eta} v_c (1 - \eta) \cdot 10^{-3}, \quad (3-4)$$

где v_c — скорость спуска, м/с.

Различают силовой и тормозной спуск. Силовой спуск имеет место при опускании пустого крюка или легких грузов, сила тяжести которых не способна преодолеть силы трения в механизме. В этих случаях $P_{гр} \leq P_{тр}$ и опускание груза производится двигателем, который создает движущий момент.

Мощность, развиваемая двигателем при силовом спуске,

$$P_{c, c} = (G + G_0) v_c \left(\frac{1}{\eta} - 2 \right) \cdot 10^{-3}, \quad (3-5)$$

где $\eta \leq 0,5$, причем для спуска пустого крюка $v_c = v_{c0}$, $\eta = \eta_0$, $P_{c, c} = P_{c, c0}$.

Тормозной спуск применяется при опускании средних и тяжелых грузов, когда $P_{гр} > P_{тр}$. Энергия направляется с вала механизма к двигателю, который создает тормозной момент, предотвращая свободное падение груза и ограничивая скорость спуска.

Мощность двигателя в этом режиме

$$P_{c, c} = (G + G_0) v_c \left(2 - \frac{1}{\eta} \right) \cdot 10^{-3}, \quad (3-5a)$$

где $\eta > 0,5$.

Для механизмов передвижения кранов, работающих в закрытых помещениях, когда отсутствует ветровая нагрузка, статический момент механизма обусловлен только силами трения.

Статическая мощность P_c , кВт, на валу двигателя передвижения моста (тележки) в установившемся режиме

$$P_c = k_1 \frac{(G + G_0 + G_{м(т)})(\mu r + f) v_{м(т)}}{R_{х,к} \eta_{м(т)}} \cdot 10^{-3}, \quad (3-6)$$

где k_1 — коэффициент, учитывающий увеличение сопротивления движению из-за трения реборд ходовых колес о рельсы ($k_1 = 1,8 \div 2,5$); G , G_0 и $G_{м(т)}$ — соответственно сила тяжести перемещаемого груза, захватывающего устройства и моста с тележкой (или только тележки), Н; $v_{м(т)}$ — скорость передвижения моста (тележки), м/с; $R_{х,к}$ — радиус ходового колеса, м; r — радиус шейки оси ходового колеса, м; μ — коэффициент трения в опорах ходовых колес; принимается равным 0,015—0,02 при подшипниках качения и 0,08—0,15 при подшипниках скольжения; f — коэффициент трения качения ходовых колес по рельсам (принимается равным 0,0005—0,0012); $\eta_{м(т)}$ — КПД механизма передвижения моста (тележки); определяется по кривым на рис. 3-2, б, при этом нужно вместо G принять сумму $G + G_{м(т)}$.

Статический момент M_c , Н·м, на валу двигателя подъема (передвижения) может быть вычислен по формуле

$$M_c = \frac{P_c R \cdot 10^3}{v_{ip} i_{п}}, \quad (3-7)$$

где P_c — статическая мощность, подсчитанная по формулам (3-1) — (3-6), кВт; v — скорость движения крюка или моста (тележки), м/с; R — радиус барабана подъемной лебедки или ходового колеса, м; i_p — передаточное число редуктора механизма подъема или передвижения; $i_{п}$ — передаточное число полиспаста.

Расчетная угловая скорость вала двигателя $\omega_{дв, расч}$, рад/с*, определяется заданной номинальной скоростью движения механизма, т. е.

$$\omega_{дв, расч} = v_{ном} i_p i_{п} / R. \quad (3-8)$$

Если на кране предполагается применить двигатели постоянного тока последовательного возбуждения, то при вычислении статических моментов по формуле (3-7) необходимо учитывать изменение угловой скорости двигателя при изменении его нагрузки, так как эти машины имеют мягкую механическую характеристику.

*Напомним соотношение между угловой скоростью ω (рад/с) и частотой вращения n (об/мин): $\omega = \pi n / 30$.

3-6. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ДИНАМИЧЕСКИХ НАГРУЗОК ДВИГАТЕЛЕЙ КРАНА

Динамические нагрузки в электроприводе возникают при изменении угловой скорости двигателя (при пуске, остановке, реверсе и т. п.). В этих случаях момент M , развиваемый двигателем, уравнивается статическим моментом M_c на его валу и динамическим моментом $M_{дин}$, создаваемым силами инерции системы «двигатель — механизм». В общем виде уравнение движения этой системы имеет вид:

$$\pm M = M_{дин} \pm M_c. \quad (3-9)$$

Значение и направление динамического момента $M_{дин}$ определяется значением и направлением моментов M и M_c . Динамическая составляющая момента двигателя может быть найдена из соотношения

$$M_{дин} = J_{\Sigma} d\omega/dt, \quad (3-10)$$

где J_{Σ} — суммарный приведенный к валу двигателя момент инерции, включающий в себя момент инерции ротора двигателя $J_{дв}$ и приведенный момент инерции $J_{пр}$ всех вращающихся и поступательно движущихся масс механизма, $\text{кг} \cdot \text{м}^2$;

$d\omega/dt$ — угловое ускорение или замедление, рад/с^2 .

При расчетах моменты инерции частей системы (шестерен редуктора, тормозных дисков и др.), вращающихся с угловыми скоростями $\omega \approx \omega_{дв}$, часто не определяют, так как их величины относительно мало сказываются на значении $J_{пр}$. Обычно их влияние учитывается введением в формулу для определения J_{Σ} коэффициента $k=1,15 \div 1,2$, т. е.

$$J_{\Sigma} = kJ_{дв} + m_{\Sigma} (v/\omega_{дв})^2, \quad (3-11)$$

где m_{Σ} — суммарная масса поступательно движущихся элементов механизма.

При ускорении или замедлении кранового механизма через редуктор передается не только статическая, но и динамическая мощность, расходуемая на изменение запаса кинетической энергии в движущихся частях и грузе. В связи с этим потери энергии в механических передачах при переходных процессах возрастают. Значение этих потерь зависит от изменения нагрузки; точный учет их сложен. При практических расчетах дополнительные

потери учитывают введением в формулу (3-11) КПД η' , соответствующего нагрузке механизма суммарной мощностью — статической и динамической.

Таким образом, более точно формула (3-11) при ускорении (энергия направляется от двигателя к механизму) запишется как

$$J_{\Sigma} = kJ_{дв} + [m_{\Sigma} (v/\omega_{дв})^2]/\eta'. \quad (3-12)$$

а при замедлении (энергия направляется от механизма к двигателю) она примет вид:

$$J_{\Sigma} = kJ_{дв} + m_{\Sigma} (v/\omega_{дв})^2 \eta'. \quad (3-13)$$

При небольших значениях $J_{пр}$ (механизмы подъема и механизмы передвижения тележек) динамический момент в основном расходуется на ускорение ротора двигателя и незначительно нагружает механическую передачу, поэтому расчет J_{Σ} можно производить по (3-11).

В электроприводах с $J_{пр} > J_{дв}$ (механизмы передвижения мостов) основной нагрузкой передач является $M_{дин}$, что вызывает дополнительные потери в редукторе и увеличивает потребляемую двигателем энергию. Для таких механизмов при большой частоте включений динамические нагрузки в значительной степени определяют выбор мощности двигателя.

Учет повышения потерь в механизмах при переходных процессах позволяет избежать грубых ошибок при определении мощности двигателей крановых механизмов.

3-7. ВЫБОР МОЩНОСТИ ДВИГАТЕЛЕЙ КРАНОВЫХ МЕХАНИЗМОВ

Электродвигатели кранов работают в тяжелых условиях (ударная нагрузка, значительные перегрузки, повторно-кратковременный режим работы с частыми пусками и реверсами и т. д.), поэтому к ним предъявляют особые требования в отношении надежности и удобства эксплуатации. Для привода механизмов кранов выпускаются специальные крановые двигатели повторно-кратковременного режима, отличающиеся от двигателей общего применения повышенной прочностью конструкции, увеличенной перегрузочной способностью, более нагревостойкой изоляцией и меньшим моментом инерции ротора за счет уменьшения его

диаметра и увеличения длины. Основное конструктивное исполнение крановых двигателей — закрытое, с горизонтальным валом, на лапах.

Основным (номинальным) режимом работы крановых двигателей является режим при $P_{Вном}=25\%$. В справочной литературе приводятся данные и для режимов при ПВ, равном 15, 40, 60 и 100%.

Наибольшее распространение получили крановые асинхронные двигатели серий МТ и МТВ с фазным ротором и с короткозамкнутым ротором серий МТК и МТКВ. Напряжения двигателей 220, 380 и 500 В; мощности при $P_{Вном}=25\%$: серии МТ — от 1,4 до 7,5 кВт, МТВ — до 160 кВт, МТК — от 1,4 до 7,5 кВт, МТКВ — до 37 кВт. В серию МТ входят также металлургические двигатели (для тяжелых условий работы) серии МТМ с фазным ротором на мощности от 2,2 до 125 кВт при ПВ=40% и серии МТКМ с короткозамкнутым ротором на мощности от 2,2 до 28 кВт при ПВ=40%.

Крановые двигатели постоянного тока выпускаются с последовательным, независимым и смешанным возбуждением — серия ДП и новая серия Д. Напряжения двигателей 220 и 440 В; мощности при $P_{Вном}=25\%$ от 2,5 до 185 кВт.

Выбор мощности двигателя механизма мостового крана производят, исходя из нагрузочной диаграммы механизма, т. е. графика $P_c=f(t)$ или $M_c=\varphi(t)$ за цикл работы.

Во многих случаях построение точной нагрузочной диаграммы кранового механизма затруднительно из-за разнообразных и часто меняющихся операций, выполняемых краном. В первую очередь это относится к механизмам цеховых кранов грузоподъемностью до 10—20 т. Основой для выбора мощности двигателя в таких случаях может служить расчетный цикл, состоящий для механизма подъема из четырех рабочих операций (подъем и спуск груза $G_{ном}$, подъем и спуск пустого грузозахватывающего приспособления) и для механизма передвижения моста или тележки — из двух операций (перемещение с грузом $G_{ном}$ в одном направлении и без груза в обратном направлении).

Для расчетного цикла предполагают известным режим работы механизма (легкий, средний и т. д.), т. е. можно задаться значением продолжительности включения ПВ_{расч} (см. § 3-2). Известны также номинальная

скорость движения $v_{ном}$, м/с, и наибольшее перемещение L , м, механизма.

Приняв, что для каждой i -й рабочей операции $v_{p,i}=v_{ном}$ и $L_{p,i}=L$, можно определить продолжительность операций $t_{p,i}$, с:

$$t_{p,i} = L/v_{ном}. \quad (3-14)$$

Тогда суммарное время работы механизма $\Sigma t_{p,i}$, с, за цикл

$$\Sigma t_{p,i} = i t_{p,i}. \quad (3-15)$$

Суммарное время пауз $\Sigma t_{0,i}$, с, находится из соотношения

$$\Sigma t_{0,i} = \frac{\Sigma t_{p,i} (100 - \text{ПВ}_{\text{расч}})}{\text{ПВ}_{\text{расч}}}, \quad (3-16)$$

причем это время делится равномерно между операциями.

Время цикла, с,

$$t_{\text{ц}} = \Sigma t_{p,i} + \Sigma t_{0,i}. \quad (3-17)$$

По (3-1) — (3-7) определяют значения статической мощности $P_{с,i}$ или момента $M_{с,i}$ на валу двигателя для всех рабочих операций, после чего можно построить нагрузочную диаграмму механизма, показанную на рис. 3-4, а для механизма подъема. При помощи этой диаграммы находят эквивалентную за суммарное время рабочих операций статическую мощность $P_{с,э,р}$, кВт, приведенную к ближайшей стандартной продолжительности включения ПВ_{ном} (если $\text{ПВ}_{\text{расч}} \neq \text{ПВ}_{\text{ном}}$), по формуле

$$P_{с,э,р} = \sqrt{\frac{\Sigma P_{с,i}^2 t_{p,i} \text{ПВ}_{\text{расч}}}{\Sigma t_{p,i} \text{ПВ}_{\text{ном}}}}. \quad (3-18)$$

Далее по каталогу предварительно выбирают двигатель на мощность $P_{дв} = P_{ном}$, кВт, при ПВ_{ном} по условию

$$P_{дв} \geq k_3 P_{с,э,р}, \quad (3-19)$$

где $k_3 \approx 1,1 \div 1,4$ — коэффициент запаса, учитывающий дополнительную загрузку двигателя в периоды пуска и электрического торможения.

Номинальная угловая скорость двигателя $\omega_{ном}$, рад/с, должна соответствовать заданной номинальной скорости механизма $v_{ном}$, м/с, и определяется по формуле (3-8).

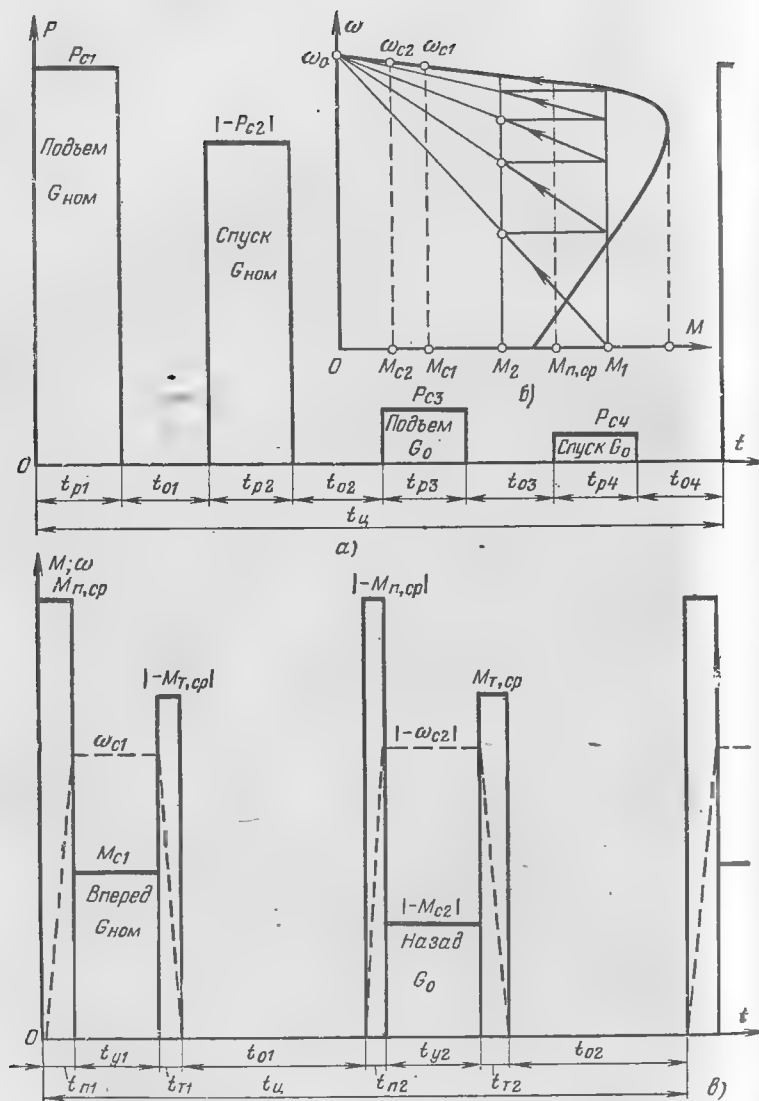


Рис. 3-4. Расчетные диаграммы: нагрузочная механизма подъема (а), пусковая (б) и нагрузочная (в) двигателя передвижения моста или тележки.

Для выбранного двигателя строят механические характеристики в соответствии с принятой схемой управления и рассчитывают времена пуска $t_{п,i}$ и электрического торможения $t_{т,i}$ привода, с:

$$t_{п(т),i} \approx \frac{J_{\Sigma} \omega_{с,i}}{M_{п(т),ср,i} \mp M_{с,i}}, \quad (3-20)$$

где J_{Σ} — приведенный к валу двигателя момент инерции привода (§ 3-6); $\omega_{с,i}$ — угловая скорость двигателя, рад/с, соответствующая установившейся скорости механизма $v_{y,i}$, м/с, и определяемая по характеристикам $\omega = f(M)$ — см., например, рис. 3-4, б (для двигателя механизма передвижения); $M_{п(т),ср,i}$ — среднее значение момента двигателя при пуске (торможении), Н·м; $M_{с,i}$ — статический момент на валу двигателя при данном переходном процессе, Н·м; знак перед $M_{с,i}$ учитывает направление действия $M_{с,i}$ по отношению к $M_{п(т),ср,i}$.

Средний путь, м, проходимый механизмом за время пуска или торможения, находят как

$$l_{п(т),ср,i} \approx \frac{v_{y,i} t_{п(т),i}}{2} = \frac{\omega_{с,i} R t_{п(т),i}}{2 i_p i_{п}}, \quad (3-21)$$

где R — радиус барабана подъемной лебедки или ходового колеса тележки (моста), м; i_p и $i_{п}$ — передаточные числа редуктора и полиспаста (для механизма подъема).

Тогда время $t_{y,i}$, с, движения механизма с установившейся скоростью $v_{y,i}$ в течение i -й рабочей операции:

$$t_{y,i} \approx \frac{L - l_{п,ср,i} - l_{т,ср,i}}{v_{y,i}}. \quad (3-22)$$

По полученным данным строят нагрузочную диаграмму двигателя $M = f(t)$ за цикл работы с учетом динамических нагрузок (см., например, диаграмму на рис. 3-4, в для двигателя механизма передвижения).

Далее по нагрузочной диаграмме двигателя определяют фактическую продолжительность включения $ПВ_{факт}$ и затем находят приведенный к стандартному значению $ПВ_{ном}$ эквивалентный момент, Н·м, двигателя за суммарное время работы:

$$M_{э,р} = \sqrt{\frac{\sum M_{с,i}^2 t_{y,i} + \sum M_{п(т),ср,i}^2 t_{п(т),i}}{\sum t_{y,i} + 0,75 \sum t_{п(т),i}}} \cdot \frac{ПВ_{факт}}{ПВ_{ном}}, \quad (3-23)$$

где коэффициент 0,75 учитывает ухудшение условий охлаждения двигателя с самовентиляцией; для двигателя с независимой вентиляцией этот коэффициент равен единице.

Окончательную проверку выбранного двигателя по нагреву выполняют по условию

$$M_{\text{ном}} \geq M_{\text{э,р}}, \quad (3-24)$$

где $M_{\text{ном}}$ — номинальный момент двигателя при $P_{\text{В,ном}}$.

Практика расчетов показывает, что если отношение $\Sigma t_{y,i} / (\Sigma t_{п,i} + \Sigma t_{т,i}) > 10$, то влиянием динамических нагрузок на нагрев двигателя можно пренебречь, т. е. по условиям нагрева предварительный выбор двигателя в этих случаях будет и окончательным. Обычно это имеет место для двигателей механизмов подъема и передвижения тележек. Напротив, для двигателей механизмов передвижения мостов динамические нагрузки существенно влияют на нагрев двигателя.

Выбранный по условиям нагрева двигатель проверяют по условиям допустимой кратковременной перегрузки и надежности пуска.

Двигатель удовлетворяет требованиям в отношении допустимой перегрузки, если выполняется условие

$$0,8 \lambda M_{\text{ном}} \geq M_{\text{с,мах}}, \quad (3-25)$$

где $M_{\text{с,мах}}$ — максимальное значение статического момента на валу двигателя, возможное при эксплуатации и испытаниях крана; λ — перегрузочная способность двигателя; 0,8 — коэффициент, учитывающий для асинхронных двигателей снижение напряжения сети на 10%.

Правильно выбранный двигатель должен обеспечивать надежный разгон привода, для чего требуется выполнение условия

$$M_{\text{п,ср}} = (M_1 + M_2) / 2 \geq 1,5 M_{\text{с,мах}}, \quad (3-26)$$

где $M_{\text{п,ср}}$ — средний пусковой момент двигателя, определяемый по каталожным данным для асинхронных двигателей с короткозамкнутым ротором или по пусковой диаграмме для двигателей постоянного тока и асинхронных с фазным ротором (см. рис. 3-4, б);

M_1 и M_2 — максимальный и минимальный моменты двигателя при пуске, причем необходимо, чтобы было выполнено условие $M_2 \geq 1,2 M_{\text{с,мах}}$.

Заключительным этапом проверки выбранного двигателя является оценка ускорений и замедлений механизма при пуске и торможении привода.

Максимальное значение среднего за период пуска (торможения) линейного ускорения (замедления) механизма $a_{\text{ср,мах}}$, м/с^2 , определяются по формуле

$$a_{\text{ср,мах}} = v_y / t_{\text{п(т),min}}, \quad (3-27)$$

где $t_{\text{п(т),min}}$ — наименьшее возможное в цикле работы время пуска (торможения) механизма при выбранном двигателе, с; величину $t_{\text{п(т),min}}$ можно определить по формуле (3-20); v_y — значение установившейся скорости, до которой разгоняется или с которой тормозится механизм, м/с .

Двигатель удовлетворяет требованиям, если соблюдается соотношение

$$a_{\text{ср,мах}} \leq a_{\text{доп}}, \quad (3-28)$$

где $a_{\text{доп}}$ — максимально допустимое ускорение (замедление) механизма, м/с^2 .

Для механизмов подъема мостовых кранов $a_{\text{доп}} = (0,2 \div 0,3) \text{ м/с}^2$, для механизмов передвижения $a_{\text{доп}} = (0,6 \div 0,8) \text{ м/с}^2$. При невыполнении условия (3-28) привод механизма крана будет работать с чрезмерно большими динамическими моментами, что вызовет удары в механических передачах, раскачивание грузов и повышенный износ оборудования.

С другой стороны, ускорения (замедления) механизмов не должны быть меньшими определенных значений, чтобы процессы пуска и торможения не затягивались. Здесь ориентиром может служить максимально допустимое время пуска, которое для механизмов подъема лежит в пределах 3—5 с, для механизмов передвижения 10—15 с.

3-8. КРАНОВЫЕ ТОРМОЗНЫЕ УСТРОЙСТВА И ГРУЗОПОДЪЕМНЫЕ ЭЛЕКТРОМАГНИТЫ

Тормозные устройства предназначены для фиксации положения механизма при отключенном двигателе, например, для удержания груза в подвешенном состоянии, а также для сокращения выбега при остановке механизма. На кранах применяются колодочные, дисковые и ленточные механические тормоза; которые затормажива-

ют механизм при отключении двигателя; одновременно с включением двигателя вал механизма растормаживается тормозными электромагнитами, электрогидравлическими толкателями или специальными двигателями.

На рис. 3-5 изображен колодочный пружинный тормоз с приводом от однофазного электромагнита переменного тока. Тормозной шкив 6, укрепленный на валу

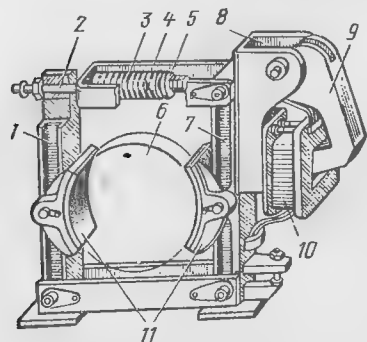


Рис. 3-5. Колодочный электромагнитный тормоз.

двигателя, охватывается тормозными колодками 11, размещенными на рычагах 1 и 7. На рычаге 7 жестко закреплен магнитопровод 8 электромагнита. При отключенной катушке 10 электромагнита разжимающая пружина 3, расположенная на стержне 2, одним концом давит на упорную шайбу 5 стержня, а другим — на скобу 4, шарнирно соединенную с рычагом 7. Поэтому верхние концы рычагов 1 и

7 стягиваются, а тормозные колодки зажимают шкив. При включении катушки электромагнита его якорь 9 поворачивается и сдвигает (на рисунке — влево) стержень 2. Пружина 3 сжимается, вследствие чего рычаги 1 и 7 разводятся, и колодки 11 освобождают шкив 6.

Тормозные электромагниты. В настоящее время на кранах применяют тормозные электромагниты однофазного и трехфазного переменного или постоянного тока. Катушки электромагнитов включаются и отключаются одновременно с двигателями. Тормозные электромагниты характеризуются рабочим напряжением, относительной продолжительностью включения (ПВ) катушки, ходом подвижной части — якоря, тяговым усилием (или моментом), допустимым числом включений в час.

По ходу якоря тормозные электромагниты разделяются на длинноходовые, имеющие ход якоря до нескольких десятков миллиметров и развивающие относительно малое тяговое усилие, и короткоходовые, которые развивают сравнительно большое тяговое усилие при малом ходе якоря (доли или единицы миллиметров).

Электромагниты постоянного тока выпускаются с катушками, включаемыми параллельно якорю двигателя или последовательно к ним. В первом случае катушки выполняют с большим числом витков, вследствие чего они имеют значительную индуктивность. Для увеличения быстродействия таких электромагнитов катушки рассчитывают на пониженное напряжение. При включении на катушку подается полное напряжение сети, что ускоряет (форсирует) процесс срабатывания электромагнита. Для удержания втянутого якоря электромагнита требуется меньшее усилие, поэтому после срабатывания электромагнита в цепь его катушки вводится добавочный резистор, который ограничивает ток катушки. Для защиты катушки от пробоя изоляции при отключении ее от сети на корпусе электромагнита монтируется разрядный резистор. Электромагниты с последовательно включенными катушками имеют большее быстродействие и более простую схему включения, поскольку не требуется применять разрядные и токоограничивающие резисторы. Главный недостаток таких электромагнитов — зависимость тягового усилия от тока нагрузки двигателя. Они применяются чаще для механизмов передвижения, где ток якоря в процессе работы меняется сравнительно мало.

Катушки электромагнитов переменного тока подключаются параллельно статору асинхронных двигателей. В катушках таких электромагнитов при включении проходит ток в 10—15 раз больший, чем при втянутом якоре, так как при большом зазоре индуктивное сопротивление катушки мало. Поэтому при увеличенном зазоре или при заклинивании якоря катушка вообще может сгореть. В однофазных электромагнитах переменного тока, как и в контакторах, предусматривается короткозамкнутый виток для предотвращения отхода якоря от сердечника в момент прохождения тока катушки через нуль.

Тормозные электромагниты выпускаются на продолжительность включения $PB=15, 25, 40$ и 60% ; они различаются по форме, массе, тормозному усилию и т.п. Из отечественных тормозных электромагнитов можно отметить: а) короткоходовые в открытом исполнении с поворотным якорем типа МО — однофазные переменного тока и типа МП — постоянного тока; б) длинноходовые типа КМП — постоянного тока, предназначенные для

установки в закрытых помещениях, а также типа КМТ — трехфазные с якорем в литом или сварном корпусе и типа ВМ — постоянного тока для работы кранов на открытых площадках.

Электрогидротолкатели. Недостатками тормозных электромагнитов являются резкое включение, вызывающее удар якоря о магнитопровод, большие броски тока

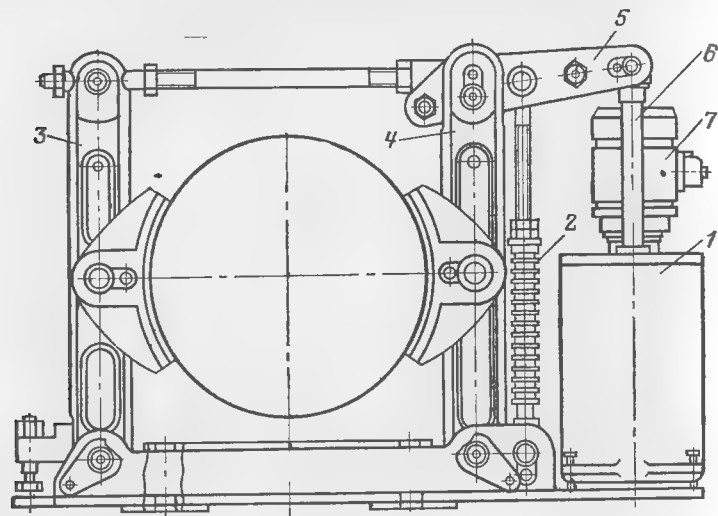


Рис. 3-6. Колодочный пружинный тормоз с электрогидротолкателем.

включения у электромагнитов переменного тока, возможность перекоса рычагов. В связи с этим в тормозных устройствах кранов все большее распространение получают электрогидравлические толкатели. Они имеют большую надежность в эксплуатации, позволяют регулировать быстрдействие и плавность торможения, могут создавать значительные тормозные моменты и легко управляются.

Электрогидравлический толкатель типа ТГ (рис. 3-6) состоит из корпуса 1, внутри которого в нижней части помещен лопастной масляный гидронасос, приводимый в действие асинхронным двигателем 7 с короткозамкнутым ротором. В верхней внутренней части корпуса 1 расположен поршень со штоком 6. При включении двигателя насос перекачивает масло из нижней полости кор-

пуса 1 под поршень. Последний движется вверх и его шток поворачивает рычаг 5, который, преодолев усилие пружины 2, через систему тяг разводит рычаги 3 и 4 с тормозными колодками. При отключении двигателя насос останавливается, поршень со штоком опускается вниз, и пружина 2 вновь зажимает тормозные колодки.

Для привода тормозов применяются электрогидротолкатели типа ТГ-50, ТГ-80 и ТГ-160 с рабочими уси-

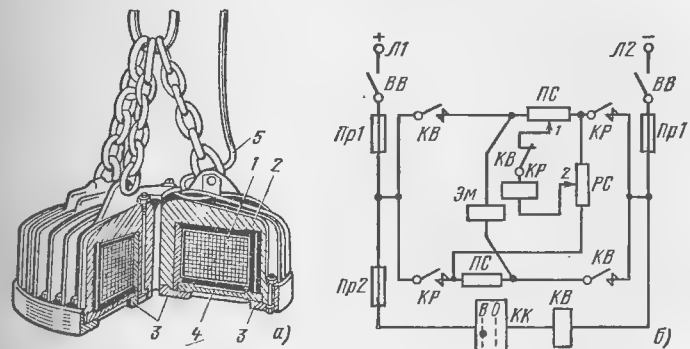


Рис. 3-7. Грузоподъемные электромагниты.

а — общий вид круглого электромагнита; б — электрическая схема магнитного контроллера ПМС-50.

лиями 500, 800 и 1600 Н, а также толкатели ТЭГ-16, ТЭГ-25, ТГМ-50 и ТГМ-80 с рабочими усилиями 160, 250, 500 и 800 Н. Толкатели обеспечивают указанные усилия при напряжении не менее 90% номинального, числе включений в час от 700 до 2000 и работе тормоза при ПВ=100%. Время срабатывания электрогидротолкателей составляет 0,6—1,5 с, в некоторых случаях они могут использоваться вместе с тормозом для регулирования угловой скорости двигателей крановых механизмов [21].

Грузоподъемные электромагниты. Использование их позволяет сократить длительность операций зацепления и снятия ферромагнитных материалов при транспортировке. На рис. 3-7, а показан электромагнит круглой формы типа М-42. Внутри стального корпуса 2 помещается катушка 1, залитая компаундной массой. К корпусу болтами крепятся полюсные башмаки 3. Снизу катушка защищена кольцом 4 из немагнитного материала.

Токоподвод к катушке осуществляется гибким кабелем 5, который автоматически наматывается на кабельный барабан при подъеме и сматывается с него при спуске. Электромагнит подвешивается к крюку цепями.

Подъемная сила электромагнита зависит от характера и температуры поднимаемого груза: при большой плотности груза (плиты, болванки) подъемная сила увеличивается, при меньшей плотности (скрап, стружка) значительно уменьшается; с ростом температуры снижается магнитная проницаемость, достигая нуля при 720°C , вследствие чего подъемная сила также падает до нуля.

Катушки таких электромагнитов питаются постоянным током, имеют большую индуктивность и значительный поток остаточного магнетизма. Поэтому при отключении электромагнита должны быть приняты меры для ограничения перенапряжений, а также для быстрого освобождения электромагнита от груза.

Управление подъемным электромагнитом производится обычно посредством магнитного контроллера, панель которого с аппаратурой помещается в шкафу и устанавливается в кабине крановщика. На рис. 3-7, б показана принципиальная электрическая схема магнитного контроллера ПМС-50, имеющего: вводной выключатель (рубильник) *ВВ*; предохранители *Пр1* и *Пр2*; включающий контактор *КВ*; контактор размагничивания *КР*; резисторы *РС* и *РС*. Постоянный ток к катушке электромагнита *Эм* подводится от сети 220 В или от преобразовательного агрегата, установленного на кране.

Для захвата груза электромагнитом рукоятку командоконтроллера ставят в положение *В*. Замыкается контакт *КК* командоконтроллера. Получает питание контактор *КВ*, который своими контактами подключает электромагнит *Эм* к источнику питания, и груз захватывается. Чтобы освободить электромагнит от груза, рукоятку командоконтроллера переводят в положение *О*. Размыкается контакт *КК*, теряет питание контактор *КВ* и отключается от источника катушки *Эм*, но ток в ней мгновенно не исчезает, а под действием ЭДС самоиндукции продолжает протекать в том же направлении по цепи с резисторами *РС* и *РС*. При этом напряжение между точками 1 и 2 оказывается достаточным, чтобы включился контактор *КР*. В результате катушка *Эм* оказывается под напряжением обратной полярности, ток в

ней интенсивно уменьшается, а затем возрастает в обратном направлении до значения, необходимого для ликвидации остаточного магнетизма. Электромагнит освобождается от груза, даже весьма легкого, например от стружки.

В процессе изменения тока электромагнита напряжение на катушке *КР* уменьшается, и при некотором его значении контактор *КР* отключается, что приводит к разрыву цепи размагничивания, но катушка *Эм* остается замкнутой на резисторы. Это исключает недопустимые перенапряжения на электромагните.

Подъемные электромагниты рассчитываются на повторно-кратковременный режим работы с $\text{ПВ}=50\%$ при продолжительности цикла не более 10 мин. Отечественной промышленностью изготавливаются электромагниты двух форм: круглые типов М-22, М-42, М-62 и угольные типов ПМ-15 и ПМ-25. Выбор подъемных электромагнитов производится по напряжению, режиму работы, подъемной силе, потребляемой мощности, форме груза и его температуре.

3.9. КРАНОВАЯ АППАРАТУРА УПРАВЛЕНИЯ И ЗАЩИТЫ

Крановые силовые кулачковые контроллеры. С помощью их осуществляются пуск, остановка, реверс и регулирование угловой скорости крановых электродвигателей как постоянного, так и переменного тока. В настоящее время силовые контроллеры применяются для переключений в главных цепях двигателей мощностью до 30 кВт при Л, С и Т режимах работы механизмов крана и от 30 до 75 кВт при Л и С режимах. Приводным органом кулачковых контроллеров на постоянном токе является маховичок, а на переменном токе — рукоятка. Каждое рабочее, а также нейтральное (нулевое) положение имеет фиксацию.

Для управления асинхронными двигателями с фазным ротором предназначены контроллеры типов ККТ-61 и ККТ-61А, ККТ-62 и ККТ-62А, ККТ-68А, ККТ-101, ККТ-102, имеющие симметричную для обоих направлений движения механизма схему замыкания контактов. В контроллере ККТ-68А обмотки статора двигателя коммутируются двумя контактами реверса. Для управления асинхронными двигателями с короткозамкнутым ротором выпускаются контроллеры типа ККТ-63, а

для механизмов подъема — также типа ККТ-64. Последний позволяет обеспечить низкие скорости при посадке груза путем включения двигателя в режим однофазного торможения на первом положении «Спуск» рукоятки контроллера.

В схемах управления двигателями постоянного тока применяются силовые контроллеры типов ККП-101 для механизмов передвижения кранов и ККП-102 для механизмов подъема.

Магнитные контроллеры. Они служат для управления двигателями механизмов кранов средней и большой производительности при мощностях двигателей до 150 кВт и напряженном режиме работы с высокой частотой включений. Магнитные контроллеры используются для приводов мощностью до 10 кВт при ВТ режиме, до 30 кВт при Т и ВТ режимах и свыше 30 кВт при С, Т и ВТ режимах. В таких контроллерах все переключения в силовых цепях двигателей производятся контакторами, катушки которых получают питание через контакты малогабаритного командоконтроллера типа КП, установленного в кабине, а аппаратура управления и защиты (контакты, реле и др.) монтируется на специальной панели, которая выносится на мост крана. Приводным органом командоконтроллера служит рукоятка. Магнитные контроллеры являются наиболее универсальным средством управления крановыми электроприводами.

Конструктивно панели магнитных контроллеров выполняются в двух вариантах: каркасно-реечными и панельными на изоляционных досках. Каркасно-реечные конструкции имеют одну ступень изоляции между токоведущими частями и корпусом и используются для кранов, работающих в обычных производственных помещениях. Панельные конструкции имеют две ступени изоляции и применяются для кранов производств с большой концентрацией токоведущей пыли. При установке магнитных контроллеров на открытых для доступа людей площадках они размещаются в стальных шкафах с запирающимися дверями.

Для управления двигателями механизмов передвижения используются магнитные контроллеры трех серий П, Т и К. У контроллеров серии П силовые цепи и цепи управления получают питание от сети постоянного тока, у контроллеров серии Т — от сети переменного то-

ка. В контроллерах серий К применяются аппараты управления постоянного тока, которые более надежны в эксплуатации и допускают большую частоту включений, чем контакторы и реле переменного тока. Все указанные контроллеры имеют симметричные схемы.

Для управления электроприводами механизмов подъема применяются несимметричные магнитные контроллеры серий ПС, ТС и КС, которые позволяют получать от двигателей низкие посадочные скорости при спуске грузов. Буква А в обозначении типа контроллера подчеркивает, что управление двигателем автоматизировано в функции времени или ЭДС, например ПСА, ТСА и др.

Для управления двухдвигательным приводом кранов с тяжелым режимом работы на механизмах передвижения применяются магнитные контроллеры серий ДП, ДТ и ДК, а на механизмах подъема — ДПС, ДТС и ДКС. Сдвоенные панели имеют двойной комплект аппаратуры, которая переключается для управления одним или двумя двигателями. По принципу работы эти панели не отличаются от одинарных панелей.

Выбор силовых и магнитных контроллеров производится по роду тока, назначению механизма, электрической схеме, мощности и напряжению двигателя, интенсивности работы механизма (числу включений в час).

Крановые конечные выключатели служат для предотвращения перехода механизмами предельно допустимых положений (ограничение подъема грузозахватывающего устройства, или хода тележек и мостов), а также блокировки открывания люков и дверей кабины. Указанная защита преимущественно выполняется посредством рычажных конечных выключателей поворотного типа, которые проще по устройству и надежнее в работе, чем выключатели нажимного типа.

Для механизмов передвижения чаще всего используются выключатели с самовозвратом в исходное положение. Для ограничения верхнего положения крюка применяется выключатель с грузовым приводом. Если необходимо ограничить и верхнее и нижнее положения захватывающего устройства, то устанавливают вращающиеся конечные выключатели, связанные с одним из валов механизма подъема.

В схемах управления крановыми электроприводами применяются следующие типы конечных выключателей: КУ-701 и КУ-706 — рычажные с самовозвратом (для

механизмов передвижения); КУ-703 — с самовозвратом под действием груза (для механизмов подъема).

Резисторы в крановых электроприводах применяются для пуска, регулирования угловой скорости и торможения двигателей, для цепей возбуждения и управления, а также для тормозных и подъемных электромагнитов. Стандартные ящики резисторов выполняются с литыми чугунными (серии ЯС), ленточными фехралевыми (серии КФ) или проволоочными константовыми (серии НС) элементами, имеющими одинаковый длительно допустимый ток для всех секций ящика. Из комбинаций таких ящиков или включения различных секций последовательно и параллельно можно подобрать любые необходимые сочетания ступеней сопротивления.

Крановые резисторы выбираются по условиям повторно-кратковременного режима работы. Номинальную продолжительность включения $PВ_{ном}$ принимают различной в зависимости от режима работы крана. Например, для кранов общего назначения при легком режиме работы для резисторов $PВ_{ном} = 12,5\%$, для среднего режима $PВ_{ном} = 25\%$, для тяжелого $PВ_{ном} = 30\%$. Следует помнить, что не все ступени сопротивления находятся в одинаковых условиях в отношении нагрева: при пуске продолжительность включения больше для тех ступеней, которые отключаются последними. Кроме того, больше вероятность включения тех же ступеней при регулировании угловой скорости двигателя. Поэтому значение $PВ_{ном}$ относятся только к последней ступени, а для остальных ступеней выбирают значения ПВ, убывающие пропорционально доли сопротивления, выводимой при замыкании каждой ступени.

Невыключаемые резисторы рассчитываются на номинальный ток ротора двигателя и на значение ПВ, равное или большее принятого для двигателя. Постоянная времени нагрева у резисторов значительно меньше, чем у двигателей, и кратковременные перегрузки, допустимые для двигателя, могут быть опасными для резисторов. Кроме того, независимо от расчетного значения ПВ каждая ступень сопротивления должна выдерживать кратковременную нагрузку номинальным током двигателя длительною не менее 30 с.

Полный расчет и выбор резисторов, включающий определение суммарного сопротивления, разбивку его по ступеням согласно расчетам пусковых, тормозных и ре-

гулировочных характеристик двигателя и проверку выбранных резисторов по перегреву для крановых приводов производят редко, например при проектировании нового контроллера или специального электропривода крана. На практике пользуются каталожными данными специальных готовых ящиков резисторов, подобранных к определенным двигателям и контроллерам, либо каталожными данными разбивки сопротивлений в долях но-

Таблица 3-1

Каталожная разбивка сопротивлений по ступеням для контроллера ККТ-101

Обозначение ступени	Сопротивление, % $R_{ном}$	ПВ, %	Время работы, с
P1—P5	20	25	60
P5—P7	55	17,7	45
P7—P10	80	12,5	30
P2—P4	4	25	60
P4—P8	16	17,7	45
P8—P10	75	12,5	30
P3—P6	10	25	60
P6—P9	25	17,7	45
P3—P10	22	12,5	30

минального сопротивления двигателя $R_{ном}$. Такие каталожные таблицы составлены применительно к типовым схемам контроллеров. Так, в табл. 3-1 приведена разбивка несимметрично включенных резисторов по фазам ротора асинхронного двигателя, управляемого кулачковым контроллером ККТ-101.

Для двигателей постоянного тока $R_{ном} = U_{ном}/I_{ном}$, где $U_{ном}$ и $I_{ном}$ — номинальные напряжения и ток якоря двигателя; для асинхронных двигателей с фазным ротором $R_{ном} = E_{2к}/(\sqrt{3}I_{2ном})$, где $E_{2к}$ и $I_{2ном}$ — ЭДС между кольцами неподвижного разомкнутого ротора и номинальный ток ротора.

Выбор резисторов по нагреву производят для каждой ступени по эквивалентному длительному току, который определяется по формуле

$$I_{э,дл} = I_p \sqrt{PВ\%/100} \leq I_{доп},$$

где $I_p = k_n I_{2ном}$ — расчетный ток ступени, А;

k_n — коэффициент, который для ступеней ускорения принимается равным 1,25, для ступени противовключения 1,0 и для предварительной ступени 0,8;

$I_{доп}$ — длительно допустимый ток резистора, А.

Крановые защитные панели применяют при контрольном управлении двигателями крана, а также вместе с некоторыми магнитными контроллерами, не имеющими собственных аппаратов защиты. На защитной панели установлена электроаппаратура, осуществляющая максимальную защиту от токов к.з. и значительных (свыше 250%) перегрузок крановых двигателей, а также нулевую защиту, исключающую самозапуск двигателей после перерыва в электроснабжении. В схему защитной панели вводят контакты различных аппаратов, обеспечивающих надежность работы крана и безопасность его обслуживания, например контакты конечных выключателей, контакты люка кабины и аварийного выключателя, вспомогательные контакты силовых контроллеров.

Конструкция защитной панели представляет собой металлический шкаф с установленной в нем аппаратурой. Шкаф закрыт дверью с замком. Второй замок заблокирован с главным рубильником. Размещаются защитные панели обычно в кабине крана.

Для защиты двигателей переменного тока с подключенными к ним проводами используются крановые защитные панели типов ПЗКБ-160 и ПЗКБ-400 на напряжения 220, 380 и 500 В, для защиты двигателей постоянного тока — панели типа ППЗКБ-150 на 220 и 440 В. Панели допускают подключение от трех до шести двигателей. В зависимости от числа защищаемых двигателей и соотношения их мощностей панели комплектуются соответствующим количеством блок-реле максимального тока, которые при срабатывании воздействуют на один, общий для группы из двух — четырех реле контакт; этим уменьшается число контактов в схеме. Установка на панелях блок-реле на различные токи дает возможность защищать двигатели различной мощности.

На рис. 3-8 показана принципиальная электрическая схема защитной панели типа ПЗК для трех двигателей переменного тока. Основной аппаратурой панели являются: вводный выключатель (рубильник) ВВ; контактор КЛ; два групповых реле (РМ и РМО), состоящих из блок-реле максимального тока РМ1—РМ3 — для защиты отдельных двигателей и блок-реле РМО1 и РМО2 —

для защиты подводящих проводов; кнопка КНР для включения панели; предохранители Пр цепи управления.

В схему панели включены блокировочные контакты контроллеров, контакт люка кабины ВКЛ, контакты ко-

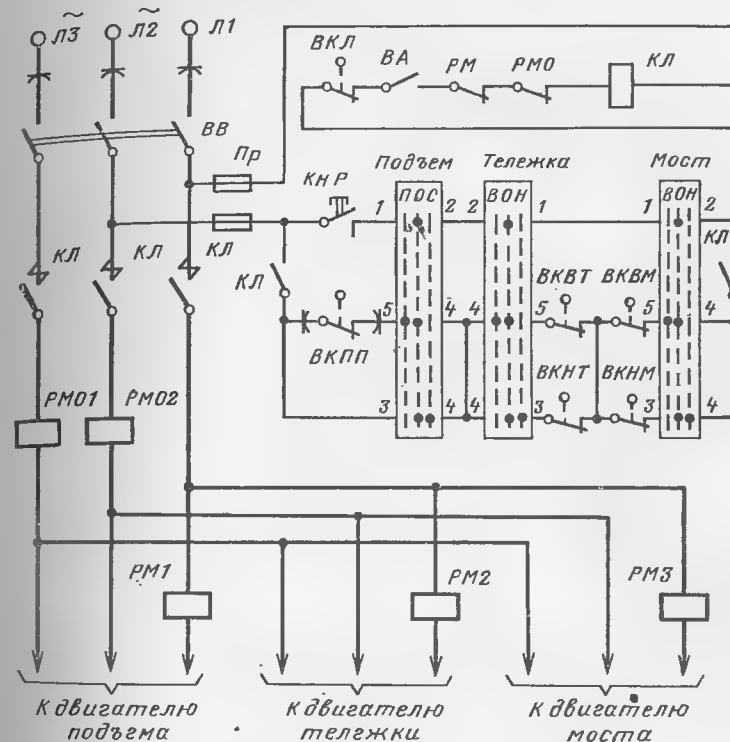


Рис. 3-8. Электрическая схема защитной панели ПЗК.

нечных выключателей механизмов подъема ВКПП и передвижения ВКВМ, ВКНМ, ВКВТ, ВКНТ, выключатель ВА для аварийного отключения панели. Блок-реле при срабатывании размыкают контакты РМ и РМО в цепи катушки линейного контактора КЛ, который отключает все двигатели от сети.

Контактор КЛ можно включить нажатием кнопки КНР, если замкнуты контакты ВКЛ, ВА, РМ, РМО и контакты 1-2 контроллеров. Для замыкания контактов

ВКЛ и 1-2 необходимо закрыть люк, ведущий из кабины на мост, и установить контроллеры в нулевое (0) положение. После включения контактор КЛ своими замыкающими вспомогательными контактами создаст цепь самопитания, которая проходит через контакты 3-4 и 4-5 контроллеров и конечных выключателей всех трех механизмов, а главными контактами подает напряжение на силовые цепи двигателей.

Схема защитной панели ПЗК составлена так, что включение двигателя возможно только для движения механизма в сторону рабочей зоны. При этом питание катушки *КЛ* осуществляется через контакт конечного выключателя, ограничивающего движение в данном направлении. Например, при установке контроллера моста в положение *В*, т.е. для движения «Вперед» контакт 3-4 размыкается, а контакт 4-5 остается замкнутым, поэтому катушка *КЛ* получает питание через контакт конечного выключателя *ВКВМ* и будет отключена, если мост дойдет до крайнего положения «Вперед». Для механизма подъема предусмотрен только один конечный выключатель *ВКПП*, так как нижний предел спуска не ограничивается.

Для защиты трехфазных асинхронных двигателей от перегрузок достаточно иметь токовые реле в одной фазе каждого двигателя (блок-реле $PM1$, $PM2$ и $PM3$), а две другие фазы двигателей можно объединить под общие блок-реле $PMO1$ и $PMO2$, которые защищают линейные провода от к.з. Нулевая защита обеспечивается самим контактором $KЛ$. После срабатывания любого из аппаратов защиты или конечных выключателей вновь включить схему в работу можно лишь после возврата всех контроллеров в нулевое положение.

На рис. 3-9 изображена принципиальная электрическая схема защитной панели типа ППЗК для трех двигателей постоянного тока. Кроме общего контактора *КЛО*, соединяющего контактный провод *Л2* со всеми двигателями, панель имеет контакторы *КЛ1—КЛ3* для подключения двигателей через соответствующие контроллеры к другому контактному проводу *Л1*. Контакт *КЛО* включается кнопкой *КнР* и остается включенным в течение всего времени при нормальной работе крана.

Контакты $K_{Л1}$ — $K_{Л3}$ включаются и отключаются контактами 3-4 и 4-5 контроллеров при каждом пуске и

остановке двигателей, что облегчает условия работы силовых контактов контроллеров. Конечные выключатели механизмов включены в цепи катушек соответст-

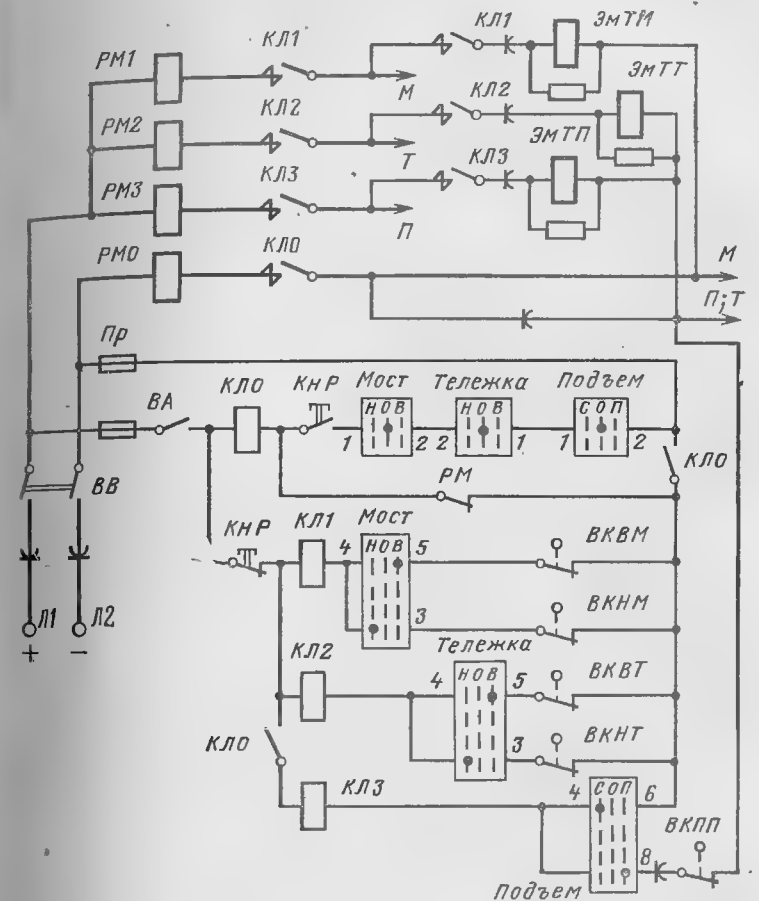


Рис. 3-9. Электрическая схема защитной панели ППЗК.

ющих контакторов, поэтому в крайнем положении какого-либо механизма отключается только двигатель данного механизма, а не вся защитная панель, что создает удобства для работы оператора.

Размыкающий контакт кнопки $K_{НР}$ предотвращает одновременное с контактором $K_{ЛО}$ включение контак-

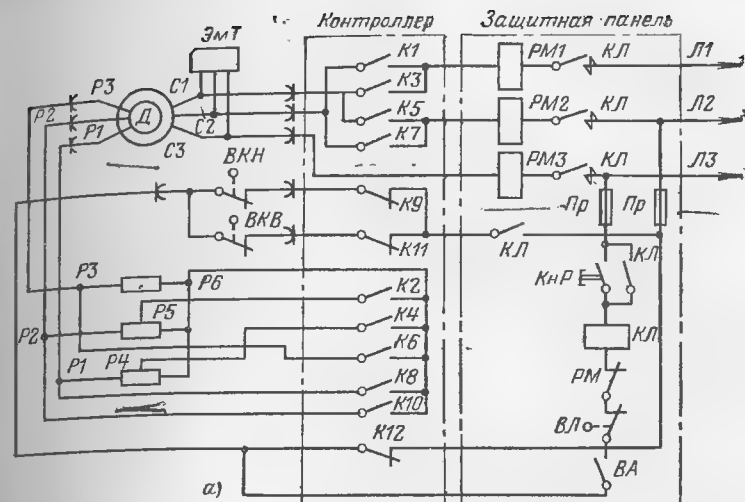
торов *КЛ1—КЛ3*, которое при наличии к.з. в цепи управления или силовой цепи могло бы привести к аварии. В главную цепь каждого двигателя включена катушка группового реле *РМ* (катушки *РМ1—РМ3*), кроме того, одна катушка реле *РМО* включена в общий силовой провод. Обмотки тормозных электромагнитов моста *ЭмТМ*, тележки *ЭмТТ* и подъема *ЭмТП* подключаются к сети замыкающими вспомогательными контактами соответствующих контакторов.

3-10. ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ СЕМЫ КОНТРОЛЛЕРНОГО УПРАВЛЕНИЯ ДВИГАТЕЛЯМИ КРАНОВЫХ МЕХАНИЗМОВ

Схемы управления крановыми двигателями могут быть симметричными и несимметричными относительно нулевого положения силового контроллера или командо-контроллера. Симметричные схемы применяют для приводов механизмов передвижения, а в некоторых случаях и для приводов механизмов подъема. В таких схемах при одинаковых по номеру положениях рукоятки (маховичка) контроллера при движении в разные стороны двигатель работает на аналогичных характеристиках $\omega = f(M)$. Несимметричные схемы используют для приводов механизмов подъема, когда при подъеме и спуске груза требуется, чтобы двигатель работал на различных характеристиках, так как обычно $v_c \neq v_{\downarrow}$.

На рис. 3-10, а показана электрическая схема управления асинхронным двигателем с фазным ротором посредством контроллера типа ККТ-61А, который имеет симметричную схему и применяется для механизмов передвижения и подъема.

Напряжение на контроллер подается через панель ПЗК. Одна фаза *Л3* питающей сети подводится к статору двигателя *Д* непосредственно, а две фазы *Л1* и *Л2* — через контроллер. В первом положении *Вперед* (*Подъем*) рукоятки контроллера замкнуты контакты *К3*, *К7* (рис. 3-10, б) и статор двигателя включается в сеть при полностью введенных сопротивлениях в цепи ротора. В первом положении *Назад* (*Спуск*) замкнуты контакты *К1* и *К5*, чем обеспечивается изменение порядка чередования фаз напряжения на зажимах статора *С1*, *С2* и *С3*. Одновременно со статором двигателя в сеть включается тормозной электромагнит *ЭмТ*, расторма-



Кон- такты	Назад Спуск					0	Вперед Подъем				
	5	4	3	2	1	0	1	2	3	4	5
К1	x	x	x	x	x						
К2	x	x	x	x			x	x	x	x	
К3							x	x	x	x	x
К4	x	x	x							x	x
К5	x	x	x	x	x						
К6	x	x								x	x
К7							x	x	x	x	x
К8	x										x
К9	x	x	x	x	x						
К10	x										x
К11							x	x	x	x	x
К12							x				

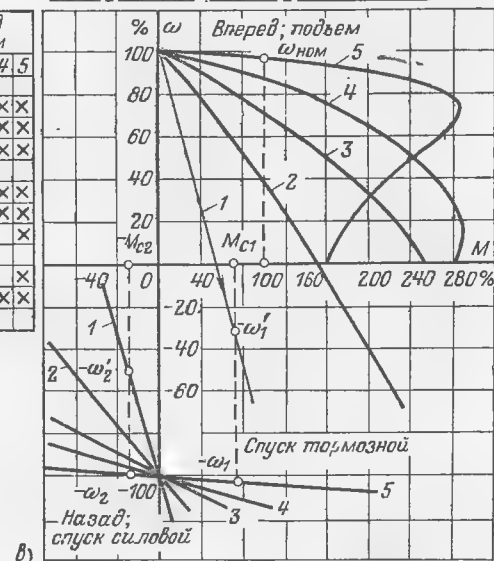


Рис. 3-10. Схема включения (а), контроллерная диаграмма (б) и механические характеристики (в) асинхронного двигателя, управляемого контроллером ККТ-61А.

живающий механизм (троллейный токоподвод, показанный на схеме, применяется только для привода подвеса).

При дальнейшем перемещении рукоятки контроллера в положения 2—5 Вперед (Подъем) или Назад (Спуск) замыкаются контакты К2, К4, К6, К8, К10 и шунтируются ступени пусковых резисторов в цепи ротора двигателя. Резисторы выводятся по фазам несимметрично, что позволяет уменьшить число переключающих контактов контроллера при требуемом числе пускорегулировочных ступеней и получить механические характеристики (рис. 3-10, в), обеспечивающие требуемый режим работы механизма. При пуске оператор должен переводить рукоятку контроллера из одного положения в другое с некоторым интервалом времени, в противном случае могут возникнуть недопустимые броски токов и моментов двигателя. Характеристика 1 с малым моментом при $\omega=0$ используется для устранения люфтов в редукторах и слабых канатов при пуске двигателя.

При опускании средних и тяжелых грузов с полной скоростью двигатель работает в генераторном режиме (например, при моменте $M_{с1}$ угловая скорость — ω_1). Пониженную угловую скорость в этом случае можно получить на положении контроллера 1 Подъем (например, угловая скорость — ω_1' при $M_{с1}$), т.е. при работе двигателя в режиме противовключения.

Легкие грузы, не преодолевающие трение в механизме, и пустой крюк опускаются при работе двигателя в двигательном режиме на положениях контроллера Спуск (например, при моменте — $M_{с2}$ угловая скорость спуска на характеристике 5 будет — ω_2 , а на характеристике 1 — более низкая скорость — ω_2').

Схема обеспечивает защиту двигателя от перегрузок по току с помощью группового максимального реле РМ (РМ1—РМ3). С помощью контактов К9, К11, К12 создаются цепи конечной и нулевой защиты. Все виды защит действуют на отключение контактора КЛ, как и предусмотрено в панелях ПЗК.

Для управления двигателями постоянного тока последовательного возбуждения применяются контроллеры типа ККП-101 (для механизмов передвижения), которые имеют симметричную схему, и типа ККП-102 (для механизмов подъема) с несимметричной схемой.

На рис. 3-11 в качестве примера показаны схемы включения при различных положениях контроллера и типовые механические характеристики двигателя, управляемого контроллером ККП-102. В положениях Подъем якорь двигателя Д, обмотка возбуждения ОВД, обмотка

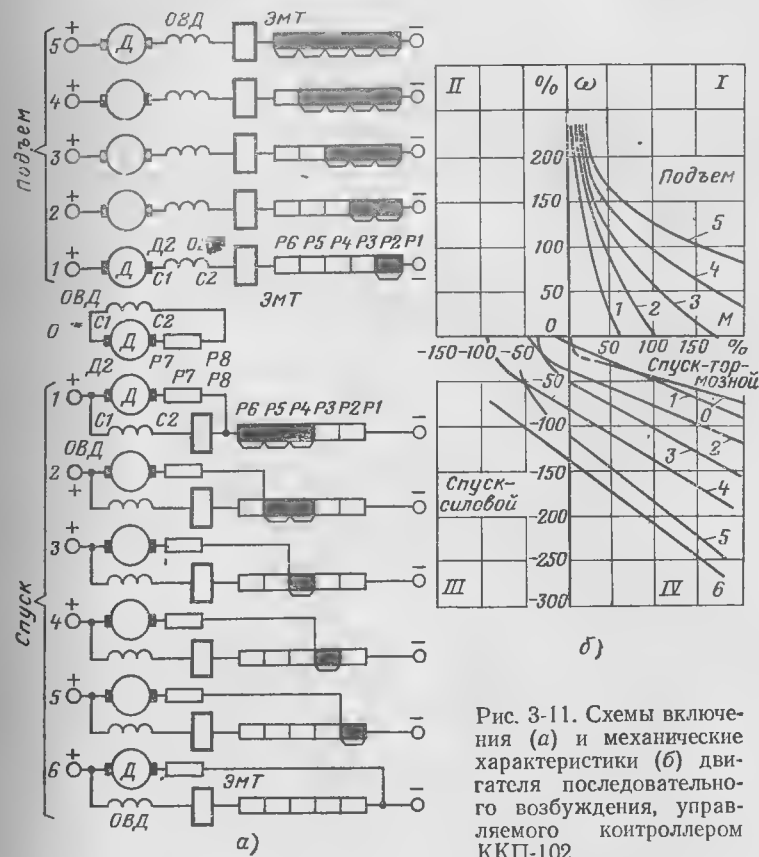


Рис. 3-11. Схемы включения (а) и механические характеристики (б) двигателя последовательного возбуждения, управляемого контроллером ККП-102.

ка тормозного электромагнита ЭМТ и пускорегулирующие резисторы Р1—Р2, Р2—Р3, Р3—Р4, Р4—Р5 и Р5—Р6 соединены последовательно. Пуск двигателя на подъем и регулирование угловой скорости осуществляются путем постепенного выключения резисторов в цепи якоря. Характеристика 1 при этом имеет то же назначение, что и в предыдущей схеме.

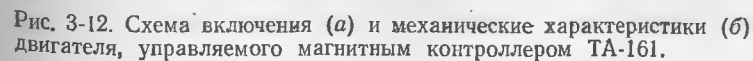
Схемы контроллеров ККП позволяют осуществить максимальную, конечную и нулевую защиту. Если применяется ЭМТ независимого возбуждения, то в дополнение к контроллеру устанавливается контактор.

Магнитные контроллеры применяются преимущественно для управления двигателями кранов с тяжелыми режимами работы Т и ВТ.

Рассмотрим работу двух серий панелей магнитных контроллеров ТА и П и отметим особенности механических характеристик двигателей, управляемых посредством панелей серий КС и ПС.

На рис. 3-12, *а* показана принципиальная электрическая схема магнитного контроллера типа ТА-161, который подключается к сети через защитную панель, так как не имеет собственных аппаратов защиты. Этот контроллер применяется для механизмов передвижения. Оператор воздействует при управлении двигателем на командоконтроллер *КК*, имеющий семь контактов и девять фиксированных положений рукоятки.

Обмотка статора двигателя подключается к сети через реверсирующие двухполюсные контакторы *КВ* и *КН*. Резисторы в цепях ротора двигателя выводятся посредством двухполюсных контакторов *КР*, *КУ1—КУ3*. Схе-



ма позволяет получить: автоматический пуск на естественную характеристику в функции независимых выдержек времени, создаваемых электромагнитными реле $PY1—PY3$, питание катушек которых производится через выпрямитель $Bп$ от панели ПЗК; работу на трех промежуточных скоростях; торможение противовключением при переводе рукоятки $КК$ в первое положение обратного направления.

В нулевом положении рукоятки $КК$ через замкнутый контакт $КК0$ включается реле напряжения $РН$ и своим контактом подготавливает к работе основные цепи управления. В первом положении рукоятки $КК$, например *Вперед*, замыкается контакт $КК1$ и включается контактор $КВ$, который своими главными контактами присоединяет статор двигателя к сети, а вспомогательным контактом включает реле $РБ$. Через замыкающий контакт $РБ$ включается контактор $КТ$, который подает питание в обмотки тормозного электромагнита $ЭМТ$, механизм растормаживается и двигатель пускается в ход с полностью включенными резисторами в цепи ротора (характеристика 1 на рис. 3-12, б).

В положениях 2—4 командоконтроллера соответственно включаются контактор $КП$ и с выдержками времени — контакторы $КУ1—КУ3$. После срабатывания контактора $КУ3$ в цепи ротора остается включенным небольшое сопротивление, смягчающее естественную характеристику двигателя для уменьшения пика момента при ускорении.

Для быстрой остановки двигателя следует перевести рукоятку $КК$ в положение 1 *Назад*. При этом отключаются контакторы $КВ$, $КП$, $КУ1—КУ3$ и реле $РБ$ (на небольшой отрезок времени), форсированно срабатывает реле $РП$ (резистор $R3$ шунтирован контактом $РБ$) и происходит торможение противовключением при введении всех резисторов в цепь ротора. При скорости $\omega \approx 0$ реле $РП$ теряет питание, и оператор должен перевести рукоятку $КК$ в нулевое положение. Для реверса двигателя рукоятку $КК$ необходимо установить в одно из положений 2, 3 или 4 *Назад*.

В цепи катушки реле $РН$ находятся контакты конечных выключателей $ВКВ$ и $ВКН$, а также контакт аварийной кнопки $Кнс$. После срабатывания какой-либо защиты или перерыва в электроснабжении пуск двигателя возможен только после установки рукоятки коман-

доконтроллера в нулевое положение, когда контакт $КК0$ замкнут и включится реле напряжения $РН$.

На рис. 3-13, а показана принципиальная электрическая схема магнитного контроллера типа П для управления двигателем постоянного тока последовательного возбуждения, а на рис. 3-13, б — механические характе-

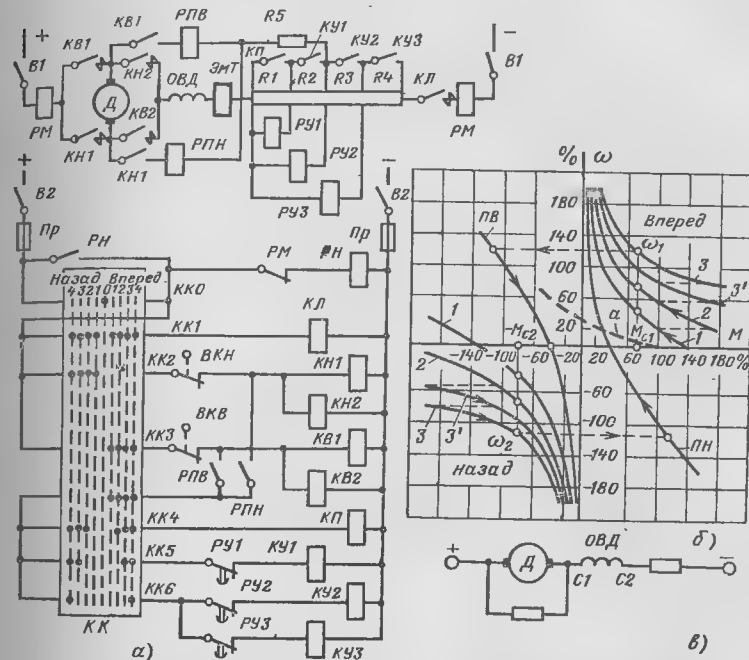


Рис. 3-13. Электрическая схема магнитного контроллера типа П (а), механические характеристики кранового двигателя (б) и вариант узла схемы (в).

ристики двигателя. Такие контроллеры применяются на механизмах передвижения кранов и имеют симметричную схему.

В цепь якоря двигателя включены: обмотка возбуждения $ОВД$, катушка тормозного электромагнита $ЭМТ$ и четыре ступени сопротивления $R1—R4$, предназначенные для пуска, торможения и регулирования угловой скорости. Реверсирование двигателя осуществляется переключением контакторов $КВ1$, $КВ2$ и $КН1$, $КН2$, изменяющих полярность напряжения на якоре. Схема

контроллера обеспечивает работу двигателя в двигательном режиме и в режиме противовключения. Пуск двигателя автоматизируется с помощью реле времени $PY1—PY3$, которые срабатывают, когда в положениях I (*Вперед* и *Назад*) командоконтроллера $КК$ по цепи якоря начинает проходить ток. Отключаются реле в результате шунтирования их катушек контактами $KП$, $KY1$ и $KY2$.

При движении механизма *Назад* (или *Вперед*) для быстрой его остановки или реверсирования следует перевести рукоятку $КК$ в положение 2, 3 или 4 *Вперед* (или соответственно *Назад*). Происходит торможение противовключением по характеристике $ПВ$ (или $ПН$). Этот процесс контролируется с помощью реле $РПВ$ (или $РПН$) и подробно описан в [25]. Если при угловой скорости, близкой к нулю, перевести рукоятку $КК$ в нулевое положение, то двигатель остановится, а если рукоятку оставить в прежнем положении, то будет осуществляться автоматический пуск двигателя в направлении *Вперед* (или *Назад*).

Защита силовой цепи достигается с помощью максимального реле $РМ$, цепи управления — предохранителями $Пр$. Реле $РН$ служит для нулевой защиты. Отключение механизма в предельных положениях производится конечными выключателями $ВКВ$ и $ВКН$.

Некоторые исполнения контроллеров серии $П$ позволяют при установке рукоятки $КК$ в первое положение включить двигатель $Д$ по потенциометрической схеме (рис. 3-13, в). Характеристика двигателя a в этом случае показана на рис. 3-13, б. Таким способом обеспечиваются условия точной остановки не полностью загруженного механизма.

Магнитные контроллеры переменного и постоянного тока для механизмов подъема имеют несимметричную схему. При работе на подъем характеристики двигателя мало отличаются от приведенных на рис. 3-12, б и 3-13, б. В режимах спуска груза асинхронный двигатель включается для работы в тормозном режиме по однофазной схеме питания, в режиме противовключения либо в генераторном режиме (см. характеристики a , б и в на рис. 3-12, б), как это имеет место в контроллерах типа $КС$. В контроллерах типа $ПС$ для получения жестких характеристик $\omega=f(M)$ при спуске якорь двигателя и обмотка возбуждения включаются параллельно по

потенциометрической схеме (см. рис. 3-11, а) с различными соотношениями сопротивлений во всех цепях. Такая схема включения двигателя крана обычно называется схемой «безопасного спуска». Механические характеристики для этой схемы показаны на рис. 3-11, б.

3-12. АВТОМАТИЗИРОВАННЫЙ ЭЛЕКТРОПРИВОД КРАНОВЫХ МЕХАНИЗМОВ С ТИРИСТОРНЫМ УПРАВЛЕНИЕМ

За последние годы в электроприводах кранов начинают внедряться тиристорные преобразователи (ТП) для управления двигателями постоянного и переменного тока. На постоянном токе применяется система ТП-Д с двумя комплектами вентилях или с одним комплектом и переключателем полярности напряжения в якорной цепи двигателя для реверса. Угловая скорость двигателя в таких системах регулируется путем изменения напряжения на якоре. В приводах переменного тока при включении ТП в цепь статора асинхронного двигателя путем изменения напряжения на двигателе можно ограничить пусковой момент, получить плавный пуск (торможение) двигателя и необходимый диапазон регулирования скорости электропривода.

В качестве примера на рис. 3-14, а изображена принципиальная схема тиристорного управления двигателем постоянного тока независимого возбуждения для механизма подъема мостового крана. Якорь двигателя $Д$ питается от реверсивного тиристорного преобразователя, который состоит из силового трансформатора $Тр$, служащего для согласования напряжений двигателя и сети; двух групп тиристоров $T1—T6$, $T7—T12$, соединенных по трехфазной мостовой встречно-параллельной схеме и образующих два непересечивающихся преобразователя $ТП1$ и $ТП2$; реакторов $P1$ и $P2$, служащих для ограничения уравнивающего тока.

Преобразователь $ТП1$ работает выпрямителем при подъеме любых грузов и инвертором — при спуске средних и тяжелых грузов. Преобразователь $ТП2$, обеспечивающий противоположное направление тока в якоре двигателя, работает выпрямителем при силовом спуске (а также в переходном режиме пуска двигателя на тормозной спуск) и инвертором — при торможении в процессе подъема. Мощность тиристорного преобразователя $ТП2$ может быть выбрана меньше, чем преобразователя $ТП1$, поскольку ток двигателя при силовом спуске значительно меньше, чем при подъеме и спуске тяжелых грузов.

Регулирование выпрямленного напряжения U_d тиристорного преобразователя, т. е. напряжения на якоре двигателя, осуществляется с помощью полупроводниковой системы импульсно-фазового управления, состоящей из двух блоков $СИФУ-1$ и $СИФУ-2$, подающих на тиристоры по два отпирающих импульса $U_{нм}$, сдвинутых между собой на 60° . С целью упрощения системы электропривода применяется совместное согласованное управление группами реверсивного тиристорного преобразователя, при котором между углами регулирования выпрямителя α_n и интервала α_n поддерживается соотношение $\alpha_n + \alpha_n \leq 180^\circ$ с одновременным ограничением углов $\alpha_{n, max} \leq 165^\circ$ и $\alpha_{n, min} \geq 15^\circ$.

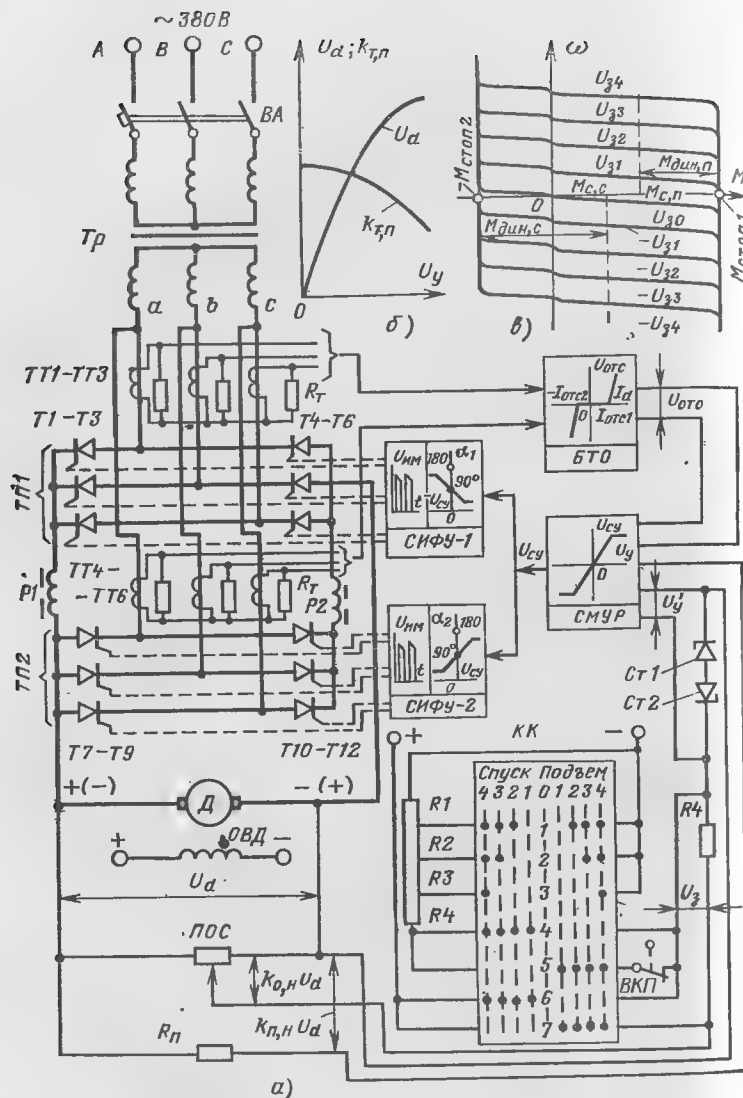


Рис. 3-14. Электрическая схема (а) и характеристики (б) кранового электропривода по системе ТП-Д.

Тиристорный электропривод крана имеет одноконтурную систему управления, выполненную с применением быстродействующего реверсивного суммирующего магнитного усилителя (СМУР), который питается от генератора прямоугольного напряжения частотой 1000 Гц (на схеме не показан). Система управления содержит сильные отрицательные обратные связи (ООС) по напряжению U_d и току I_d двигателя. Сигнал U'_y в цепи управляющих обмоток СМУР представляет собой разность задающего напряжения U_z , поступающего с резистора R_4 , и напряжения обратной связи $k_{o,n}U_d$, снимаемого с потенциометра ПОС. Значение и полярность задающего сигнала, определяющего скорость и направление вращения привода, регулируются с помощью командоконтроллера КК, переключающего резисторы $R1-R3$.

В схеме предусмотрено ограничение уровня сигнала U'_y с помощью двух стабилизаторов $Ст1$ и $Ст2$, включенных параллельно управляющим обмоткам СМУР. Если разность напряжений $U_z - k_{o,n}U_d$ превысит напряжение пробоя стабилитрона $U_{ст}$, то стабилитроны будут проводить ток, а напряжение U'_y на обмотках управления останется равным $U'_{y, max} = U_{ст}$. Следовательно, при $U_d \leq (U_z - U_{ст})/k_{o,n}$ обратная связь по U_d не действует, что обычно имеет место при токах двигателя $I_d \geq (2,0 \div 2,3)I_{d, ном}$. При меньших токах I_d сигнал обратной связи $k_{o,n}U_d > (U_z - U_{ст})$ и напряжение $U'_y < U_{ст}$, поэтому ток через стабилитроны не проходит и ООС по напряжению вступает в работу.

Сигнал ООС по току I_d с отсечкой (ток отсечки равен $I_{отс}$) вырабатывается блоком токовой отсечки БТО, который получает питание от двух групп трансформаторов тока (ТТ1-ТТ3 и ТТ4-ТТ6), первичные обмотки которых включены в провода питания преобразователей ТП1 и ТП2. В каждой группе трансформаторов тока их вторичные обмотки, соединенные в звезду, включены на резисторы R_1 , с которых снимается трехфазное напряжение, пропорциональное току питания $I_{2ф}$ соответствующего преобразователя, т.е. току якоря двигателя, поскольку $I_{2ф} \equiv I_d$. В блоке БТО эти напряжения выпрямляются, и через стабилитроны отсечки результирующее напряжение токовой отсечки $U_{т,о}$ подается на токовые обмотки управления СМУР. Напряжение $U_{т,о}$ равно нулю при токах $|I_d| \leq I_{отс}$. При токах $|I_d| > I_{отс}$ величина $U_{т,о} > 0$, а полярность его такова, что в выпрямительном режиме работы ТП1 или ТП2 рост $U_{т,о}$ приводит к уменьшению результирующего сигнала управления СМУР и снижению напряжения U_d . В инверторном режиме работы ТП1 или ТП2, наоборот, при увеличении $U_{т,о}$ напряжение U_d возрастает. Тем самым ограничивается ток I_d в силовой цепи в статических и динамических режимах. Значение тока отсечки $I_{отс1}$ выбирается для ТП1 большим, чем значение $I_{отс2}$ для ТП2.

Для получения крутопадающих механических характеристик $\omega = f(M)$ двигателя и ограничения темпа нарастания тока якоря в переходных режимах дополнительно к перечисленным выше обратным связям применяется положительная обратная связь по напряжению U_d , сигнал которой снимается с якоря двигателя и через резистор R_n подается на управляющие обмотки СМУР. Коэффициент этой связи выбирается равным $k_{п,н} = 1/k_{т,п} \approx \Delta U_y / \Delta U_d$ в соответствии с начальным участком характеристики $U_d = f(U_y)$ преобразователя (рис. 3-14, б), но на порядок меньше коэффициента $k_{o,n}$ отри-

цательной обратной связи по U_d . Действие положительной связи в основном проявляется в зоне токовой отсечки, это обеспечивает высокий коэффициент заполнения $k_{зап} = M_{отс}/M_{стоп} \approx 1$ характеристик $\omega = f(M)$.

На рис. 3-14, а изображены механические характеристики электропривода подъема крана по системе ТП—Д для нескольких значений задающего напряжения U_a , соответствующих различным положениям рукоятки командоконтроллера КК.

Полная схема управления автоматизированного электропривода мостового крана с тиристорным управлением включает в себя все блокировочные связи и защитные цепи, которые были рассмотрены в приведенных ранее схемах.

3-13. ЭЛЕКТРООБОРУДОВАНИЕ ПОДВЕСНЫХ ЭЛЕКТРОТЕЛЕЖЕК

Для подъема и перемещения грузов в цехах промышленных предприятий, на заводских территориях и складах широко применяются подвесные электротележки грузоподъемностью от 0,1 до 5 т. Они меньше мостовых кранов, что сокращает размеры промышленных зданий, а их обслуживание не требует квалифицированного персонала. В подвесных электротележках (рис. 3-15) в качестве грузоподъемного механизма применяется электроталь, состоящая из грузового канатного барабана 1, приводимого во вращение двигателем 7 через редуктор 2. С главным валом привода подъема связаны диски электромагнитного тормоза 3. Электроталь смонтирована на ходовой тележке 5, колеса которой опираются на нижние полки двутавровой балки — монорельса 6 и приводятся в движение от двигателя 4 через цилиндрический редуктор (небольшие электротележки не имеют этого двигателя и перемещаются вручную).

Движение крюка 9 вверх ограничивается конечным выключателем 8. Перемещение тележки по монорельсу также ограничивается конечными выключателями. Ток к двигателям подводится от контактных проводов (троллеев), подвешенных на уровне монорельса, при помощи токоъемников, укрепленных на кронштейне ходовой тележки.

Подвесными электротележками оснащаются и кран-балки — легкие мостовые краны грузоподъемностью не более 5 т. Мост кран-балки, имеющий механизм перемещения с электроприводом, выполнен в виде одной балки, по которой движется ходовая электротележка.

Для привода подвесных электротележек, как правило, применяются трехфазные асинхронные двигатели с

короткозамкнутым ротором и лишь при большой грузоподъемности и необходимости регулирования скорости для плавной «посадки» грузов — асинхронные двигатели с фазным ротором. Электротележками с небольшой

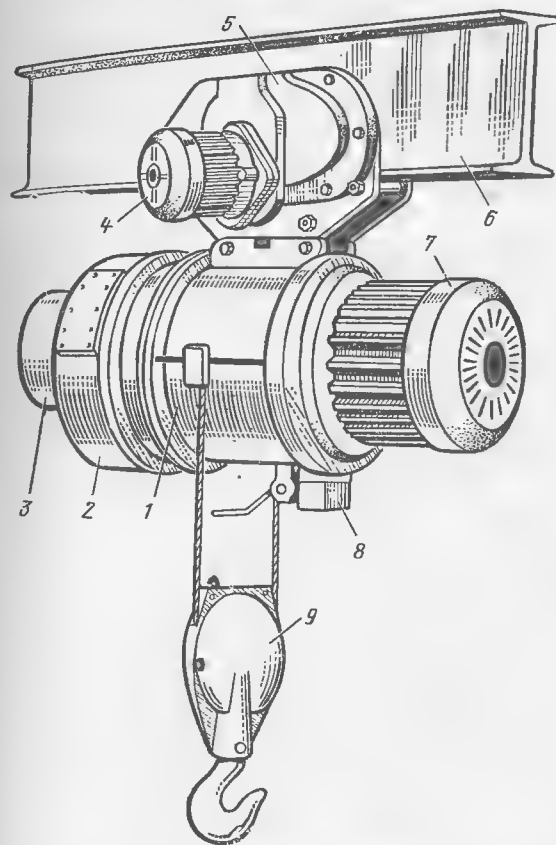
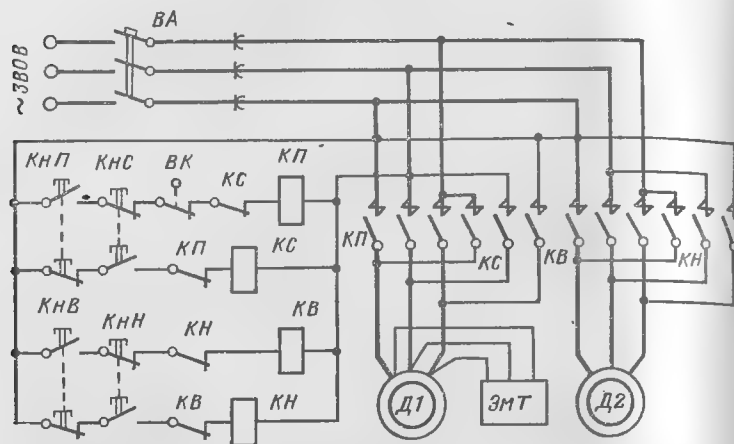


Рис. 3-15. Общий вид подвесной электротележки.

скоростью перемещения (0,2—0,5 м/с), имеющими привод от двигателей с короткозамкнутым ротором, обычно управляют с уровня пола (земли) при помощи подвесных кнопочных станций. В подвесных тележках и кран-балках с кабиной для оператора (при скорости движе-

На рис. 3-16 показана принципиальная электрическая схема подвесной электротележки с приводом от асинхронных двигателей с короткозамкнутым ротором. Напряжение на схему подается с троллеев, подключен-



ных к сети через автоматический выключатель ВА. Двигателями подъема Д1 и передвижения Д2 управляют при помощи реверсивных магнитных пускателей КП, КС (Подъем — Спуск) и КВ, КН (передвижение Вперед — Назад), катушки которых включаются с помощью кнопок КнП, КнС и КнВ, КнН. На электротележках не применяют шунтирования замыкающих контактов кнопок вспомогательными контактами контакторов, поэтому работа каждого двигателя возможна при условии, что соответствующая кнопка удерживается в нажатом положении. Это устраняет опасность ухода тележки от оператора, так как при отпускании кнопки двигатель отключается от сети. Для предотвращения одновременного включения пускателей КП и КС, КВ и КН служит блокировка размыкающими вспомогательными контактами пускателей.

156

3-14. ТОКОПОДВОД К КРАНАМ

[illegible]

157

щаются относительно источника питания, токоподвод к ним осуществляется при помощи контактных проводов — троллеев или гибким кабелем.

Токоподвод плоским гибким кабелем применяется только для кранов, работающих во взрыво- и пожароопасных помещениях. Троллейный токоподвод выполняется с жесткими троллеями из профилированной стали в виде уголков, рельсов или швеллеров, а также с гибкими троллеями из стали круглого сечения или стальных омедненных проводов.

Схема токоподвода к мостовому крану на переменном токе с гибким кабелем показана на рис.3-17, а. Здесь *М* — мост крана. От цеховой подстанции *П* через автоматический выключатель *ВА* питание подводится кабелем к сборной коробке *КС*, установленной у одного из концов подкранового пути 4. От этой коробки после рубильника *В* идет главный гибкий кабель 3 к вводному выключателю *ВВ* защитной панели *ПЗ* крана. Кабель 3 может быть собран в петли вдоль подкранового пути при помощи роликовых кареток 1, свободно перемещающихся по специальному рельсу 2, установленному вдоль подкранового пути, или по туго натянутому канату вдоль этого пути.

На рис. 3-17, б изображена схема троллейного токоподвода на переменном токе. От сборной коробки *КС* питание подводится к главным троллеям *Т1—Т3*, установленным на изоляторах 3 и располагаемых вдоль подкранового пути (на рисунке показаны троллеи из уголка). По ребрам уголков скользят чугунные башмаки 1, шарнирно закрепленные на изоляторах стойки токоъемника 2 моста. При помощи медных многожильных перемычек 4 башмаки соединяются с зажимами 5, от которых отходят провода к защитной панели.

Аналогичным образом осуществляется троллейный токоподвод к тележке крана. Вспомогательные троллеи (или гибкий кабель) располагаются вдоль пролета моста, а токоъемники — на тележке.

Выбор сечения токоподводящих проводников (троллеев и гибких кабелей) производят по току нагрузки и по потере напряжения. Поскольку двигатели крановых механизмов, как правило, работают с переменной нагрузкой, а несколько двигателей одного крана могут работать неодновременно, расчетный ток проводников определяют приближенными методами. Один из таких

методов основан на использовании опытных данных по эксплуатации кранов и рассматривается ниже.

Расчетная мощность P_p , кВт, потребляемая из сети группой двигателей, определяется по формуле

$$P_p = cP_z + bP_c, \quad (3-29)$$

где P_z — установленная мощность при ПВ=25% трех наиболее крупных двигателей в группе, кВт; P_c — суммарная мощность при ПВ=25% всех двигателей в группе, кВт; b и c — опытные коэффициенты (обычно $b=0,06 \div 0,18$; $c=0,3$).

Расчетный ток I_p , А, для кранов, работающих на переменном и постоянном токе, соответственно равен:

$$I_{p\sim} = 1000 P_p / (\sqrt{3} U_{\text{ном}} \cos \varphi); \quad (3-30)$$

$$I_p = 1000 P_p / U_{\text{ном}}, \quad (3-31)$$

где $U_{\text{ном}}$ — номинальное напряжение сети, В; $\cos \varphi$ — средний коэффициент мощности двигателей, принимаемый равным 0,7.

Сечения троллеев и кабелей выбирают по расчетному току. При этом должно соблюдаться условие

$$I_p \leq I_{\text{доп}}, \quad (3-32)$$

где $I_{\text{доп}}$ — длительно допустимый ток для проводника выбранного сечения, А.

Потеря напряжения Δu , %, в крановой сети при прохождении пусковых, тормозных и рабочих токов не должна превышать 8—12% из условия сохранения достаточной перегрузочной способности асинхронных двигателей, нормальной работы электромагнитов и электрических аппаратов управления. Общая допустимая потеря напряжения распределяется по участкам крановых сетей следующим образом: главные троллеи 3—4%; магистраль до главных троллеев 4—5%; сеть в пределах крана 1—3%. Для установок с редкими пусками допускается Δu не более 15%.

При расчете по потере напряжения сечение s , мм², медных и алюминиевых проводов для переменного и постоянного тока соответственно определяется для каждого участка сети по формулам

$$s = 100 \sqrt{3} I_{\text{max}} l \cos \varphi / (\sigma \Delta u' \% U_{\text{ном}}); \quad (3-33)$$

$$s = 100 \cdot 2 I_{\text{max}} l / (\sigma \Delta u' \% U_{\text{ном}}), \quad (3-34)$$

где I_{max} — максимальный ток нагрузки, А; l — длина провода, м; σ — удельная проводимость материала провода, $\text{м}^2/(\text{Ом} \cdot \text{мм}^2)$ (для меди она равна 57, для алюминия 35; для стали 8); $\Delta u\%$ — допустимая потеря напряжения на участке.

Значение I_{max} , А, для главных троллеев и проводов магистрали определяется в зависимости от числа присоединенных кранов:

при одном кране

$$I_{max} = mI_{ном1} + I_{ном2}; \quad (3-35)$$

при двух кранах

$$I_{max} = mI_{ном1} + I_{ном2} + I_{ном1,2} \quad (3-36)$$

где m — кратность пускового тока; $I_{ном1}$ — номинальный ток наибольшего двигателя первого крана, А; $I_{ном2}$ — номинальный ток второго по величине двигателя того же крана, А; $I_{ном1,2}$ — номинальный ток наибольшего по мощности двигателя второго крана, А.

Из двух значений сечения проводников, определенных по $I_{доп}$ и по $\Delta u\%$, выбирают большее.

Для стальных троллеев, передающих переменный ток, следует учитывать реактивную составляющую потери напряжения. В этом случае выбранное по $I_{доп}$ сечение троллея проверяют по потере напряжения с учетом влияния ее реактивной составляющей согласно формуле

$$\Delta u\% = 100 \sqrt{3} (R \cos \varphi + X \sin \varphi) I_{max} / U_{ном}, \quad (3-37)$$

где R и X — соответственно активное и реактивное сопротивление троллея на 1 м длины, Ом/м (находятся из справочной литературы).

Наиболее распространенные сечения троллеев из уголовой стали — от $50 \times 50 \times 5$ до $75 \times 75 \times 10$ мм. Часто в случаях, когда сечение троллеев не удовлетворяет требованию $\Delta u \leq \Delta u_{доп}$, применяют дополнительное питание их в нескольких точках. Для этого обычно используют алюминиевую шину, прокладывая ее параллельно троллею на тех же крепежных конструкциях.

В справочниках значения $I_{доп}$ для стальных троллеев даются обычно при переменном токе и ПВ = 100%. При меньших значениях ПВ нагрузка может быть увеличена, например, при ПВ = 40%, в 1,5 раза. Нагрузка

на стальные троллеи при постоянном токе может быть увеличена в 1,5—2 раза по сравнению с допустимой нагрузкой на переменном токе.

Крановые сети защищены от токов к.з., но обычно не имеют специальной защиты от перегрева. Поэтому в соответствии с ПУЭ аппараты защиты от токов к.з. выбирают так, чтобы номинальный ток плавкой вставки $I_{вст} \leq 3I_{доп}$, а ток срабатывания электромагнитного расцепителя автоматического выключателя $I_{сраб} \leq 4,5I_{доп}$, где $I_{доп}$ — длительно допустимый ток защищаемого участка сети. Для автоматических выключателей с комбинированными расцепителями должно соблюдаться условие $I_{ном,расц} \leq 1,5I_{доп}$, где $I_{ном,расц}$ — номинальный ток расцепителя.

Глава четвертая

ЭЛЕКТРООБОРУДОВАНИЕ И АВТОМАТИЗАЦИЯ ЛИФТОВ

4-1. ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ О ЛИФТАХ

В различных отраслях народного хозяйства используются подъемные механизмы прерывистого режима работы, служащие для перемещения людей и грузов в вертикальном направлении по строго определенному пути в специальных грузонесущих устройствах — кабинах, ковшах, сосудах и т. п. К числу самых распространенных механизмов вертикального транспорта относятся лифты, которые находят все большее применение в зданиях современных промышленных предприятий и в жилых домах.

Лифты являются стационарными механизмами, предназначенными для транспортировки с одного этажа здания на другой грузов и людей в кабинах, которые перемещаются в огражденной со всех сторон шахте. В настоящее время лифты выполняются с высокой степенью автоматизации операций по открыванию и закрыванию дверей, по передвижению и остановке кабины; они отличаются безусловной безопасностью, комфортабельностью и общедоступностью пользования.

По назначению лифты разделяют на пассажирские, грузовые с проводником и без проводника, грузопассажирские, специальные. По скорости движения кабины

различают тихоходные (до 0,5 м/с), быстроходные (до 1,0 м/с) и скоростные (свыше 1,0 м/с) пассажирские лифты. Грузовые лифты чаще всего работают при скорости движения кабины 0,1—0,5 м/с. Грузоподъемность пассажирских лифтов составляет от 250 до 1500 кг (т. е. от 3 до 21 пассажира), грузовых — от 50 до 5000 кг.

При большом разнообразии вариантов конструкций пассажирских и грузовых лифтов основными узлами оборудования для них являются подъемная лебедка, канаты, кабина, противовес, двигатель, механический тормоз и аппаратура управления.

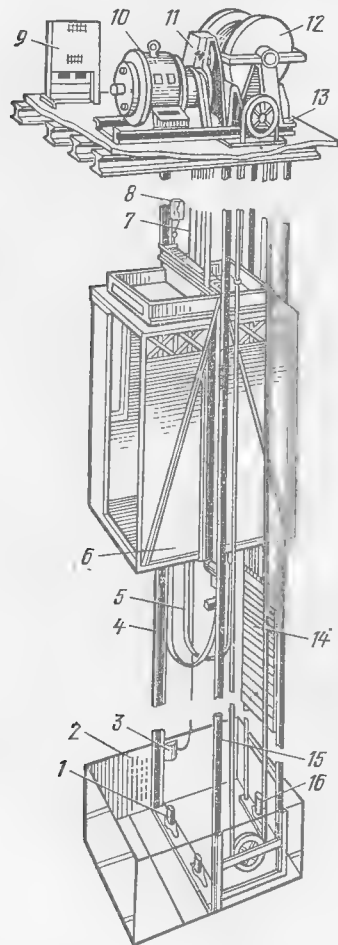


Рис. 4-1. Общий вид пассажирского лифта.

На рис. 4-1 показан общий вид пассажирского лифта. В огражденной со всех сторон шахте 2 по направляющим 4 и 15 перемещается кабина 6, подвешенная на несущих канатах 7, которые навиваются в несколько заходов в клиновидные или полукруглые дорожки на поверхности канатопроводящего шкива 12. Связь между шкивом 12 и главными канатами 7 осуществляется за счет трения, а не жестким креплением, как в барабанных лебедках мостовых кранов. На другом конце канатов 7 подвешен противовес 14, который движется по своим направляющим. Движение шкиву и несущим канатам сообщается от двигателя 10 в большинстве случаев через червячный редуктор.

На верхней части кабины современных лифтов устанавливается электропривод дверей, который через

систему рычагов раздвигает створки дверей. Питание к двигателю дверей, а также к аппаратуре управления и сигнализации, расположенной в кабине лифта, подводится гибким кабелем 5. Через этот же кабель осуществляется связь с электрооборудованием, находящимся вне кабины.

Высокие требования безопасности пользования лифтом вызывают необходимость применения специального оборудования, действующего при различного рода повреждениях и авариях. На валу двигателя установлен электромагнитный тормоз 11, затормаживающий привод при снятии напряжения с двигателя при нормальной работе и в аварийных режимах. Для предохранения кабины и противовеса от удара об пол шахты при отказе в работе конечных выключателей 3, ограничивающих перемещения кабины в крайних положениях, служат масляные или пружинные буферы 1 и 16, на которые садятся кабина или противовес. Для предотвращения падения кабины при обрыве канатов (это происходит весьма редко) или при движении ее со скоростью, превышающей заданную, применяются специальные ловители, устанавливаемые в нижней части кабины, с клиновидными или клещевыми захватами, губки которых захватывают направляющие 4, 15 и не только надежно тормозят кабину, но и удерживают ее в состоянии покоя после остановки.

Двигатель, редуктор, тормозной электромагнит и канатопроводящий шкив монтируются на общей раме 13 и вместе со шкафом управления 9 устанавливаются в машинном помещении, чаще всего над шахтой. Верхнее расположение машинного помещения более экономично, чем подвальное, вследствие меньшей длины несущих канатов и снижения числа промежуточных блоков.

Вызывные кнопки располагаются на лестничных площадках. Для остановки кабины на заданном этаже применяются этажные переключатели 8.

4.2. ОСНОВНЫЕ ТРЕБОВАНИЯ К ЭЛЕКТРОПРИВОДУ ЛИФТОВ

Для качественного выполнения операций по транспортировке грузов и пассажиров при высокой производительности электропривод лифтов должен обеспечить: реверсивную работу двигателя; плавный пуск и торможение при условии, чтобы ускорения и замедления, а также их производные не превышали установленные

нормы; минимальное время переходных процессов; точную остановку кабины против уровня пола этажа

Выполнение этих требований связано с некоторыми особенностями работы лифтов, которые хорошо видны из формулы производительности пассажирского лифта (числа перевезенных пассажиров в час):

$$P = \frac{3600 \gamma E_k}{2H/v_k + \Sigma t}, \quad (4-1)$$

где E_k — номинальная емкость кабины (грузоподъемность), т. е. число пассажиров без проводника; H — высота подъема, м; v_k — скорость движения кабины, м/с; Σt — время, затрачиваемое на всех остановках на открывание и закрывание дверей, вход и выход пассажиров, разгон и торможение кабины, с; γ — коэффициент загрузки кабины, зависящий от интенсивности потока пассажиров; для лифтов 6—10-этажных зданий $\gamma = 0,6 \div 0,8$.

Из формулы (4-1) следует, что производительность лифта прямо пропорциональна емкости кабины и определяется скоростью движения, но не в прямой пропорции. Для лифтов с большими кабинами в (4-1) значительно возрастает второй член знаменателя, зависящий в основном от времени входа и выхода пассажиров из кабины.

Лифты с большой скоростью движения кабины (свыше 2 м/с), если она должна делать остановки на каждом этаже, фактически не используются по скорости, ибо на одном перегоне между этажами (при $H = 3,2 \div 3,6$ м) по условиям заданного ускорения кабина не может развить скорость выше 1,6—1,8 м/с, так как по достижении такой скорости ее опять требуется снижать для обеспечения точной остановки. Скорость кабины более 1,5 м/с принимается для скоростных лифтов в том случае, если они работают с экспрессными зонами, т. е. обслуживают не все этажи подряд, а кратные 2 или 5. Междуэкспрессные зоны могут обслуживаться лифтами с меньшими скоростями движения.

Допустимые значения ускорения кабины при пуске и замедления ее при остановке в нормальных режимах работы для тихоходных и быстроходных лифтов составляют 1,5 м/с², для скоростных лифтов 2,5 м/с². Максимальное замедление при остановке кнопкой «Стоп» не должно превышать 3,0 м/с². Наибольшая допустимая скорость изменения ускорения (производная ускорения по време-

ни — рывок) ограничивается значениями 3—10 м/с³. Ограничение ускорения и рывка определяется нормальным самочувствием пассажиров независимо от их возраста и состояния здоровья, а также необходимо в целях снижения динамических нагрузок на несущие канаты и кабину лифта.

Для обеспечения удобства и безопасного входа и выхода пассажиров, загрузки и выгрузки грузов, а также для сокращения длительности этих процессов кабина лифта после торможения должна остановиться против уровня этажной площадки с заданной степенью точности. Неточная остановка в пассажирских лифтах влечет за собой увеличение времени входа и выхода пассажиров, в грузовых лифтах — затрудняет, а в некоторых случаях делает невозможной загрузку и разгрузку кабины.

При автоматизации подъемной установки какие-либо действия оператора исключаются, и управление процессом точной остановки полностью возлагается на электропривод, что в ряде случаев оказывает решающее значение на выбор типа электропривода лифта. Для обеспечения точной остановки кабины обычно применяют снижение ее скорости перед остановкой.

Рассмотрим схему процесса остановки кабины лифта (рис. 4-2). При подходе кабины к этажной площадке происходит переключение путевого датчика точной остановки ДТО упором У на кабину, и в схему управления электроприводом поступает командный импульс. После срабатывания датчика кабина некоторое время будет продолжать следовать с постоянной скоростью $v_k = v_{нач}$, м/с, пока не сработают аппараты, отключающие двигатель от сети, и не наложится механический тормоз. Кабина при этой скорости пройдет путь S' , м, определяемый выражением

$$S' = v_{нач} t_{ап}$$

или

$$S' = \varphi' \frac{D_{к,ш}}{2i_p} = \omega_{нач} \frac{D_{к,ш}}{2i_p} t_{ап}, \quad (4-2)$$

где $t_{ап}$ — суммарное время срабатывания аппаратов, с; $\omega_{нач}$ и φ' — угловая скорость вала двигателя, рад/с, и угловой путь его, рад, соответствующие скорости $v_{нач}$ и пути S' ; $D_{к,ш}$ — диаметр канатопроводящего шкива, м; i_p — передаточное число редуктора.

Далее происходит торможение кабины под действием суммарного тормозного момента $M_{г,с}$, Н·м. За время торможения запасенная во всех движущихся элементах установки кинетическая энергия $A_{кин}$, Дж, будет израсходована на совершение работы A , Дж, по преодолению сил сопротивления движению на проходном кабину тормозном пути S'' , м. Этому пути отвечает угловой путь вала двигателя φ'' , рад.

Известно, что

$$A_{кин} = J_{\Sigma} \omega_{нач}^2 / 2,$$

где J_{Σ} — суммарный приведенный к валу двигателя момент инерции установки, кг·м².

В свою очередь

$$A = M_{т, \Sigma} \varphi'' = M_{т, \Sigma} \frac{2i_p}{D_{к, ш}} S'',$$

причем

$$M_{т, \Sigma} = M_{м, т} \pm M_c,$$

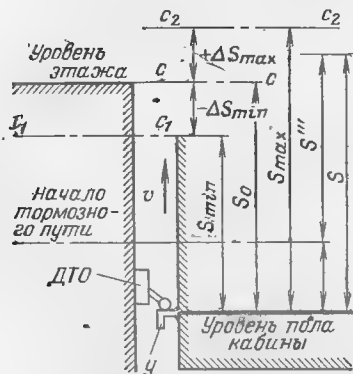


Рис. 4-2. Схема процесса остановки кабины. Уровни пола кабины: c_1-c_1 при недоподъеме; c_2-c_2 при переподъеме; $c-c$ при точной остановке.

где $M_{м, т}$ — момент механического тормоза, Н·м; M_c — момент статической нагрузки на валу двигателя, Н·м.

Из условия $A = A_{кин}$ можно определить путь торможения

$$S'' = \frac{J_{\Sigma} \omega_{нач}^2 D_{к, ш}}{4M_{т, \Sigma} i_p}. \quad (4-3)$$

Следовательно, общий путь S , м, пройденный кабиной с начала воздействия на датчик точной остановки и до полной остановки кабины, найдется как

$$S = S' + S'' = (D_{к, ш} / 2) [\omega_{нач} t_{ап} + J_{\Sigma} \omega_{нач}^2 / (2M_{т, \Sigma} i_p)]. \quad (4-4)$$

Величины $\omega_{нач}$, J_{Σ} , $t_{ап}$ и $M_{т, \Sigma} = M_{м, т} \pm M_c$ при работе лифта изменяются в более или менее широких пределах. Действительно, момент инерции J_{Σ} и статический момент M_c зависят от загрузки кабины; скорость $\omega_{нач}$ определяется жесткостью механической характеристики двигателя и значением M_c ; время $t_{ап}$ и момент тормоза $M_{м, т}$ не остаются в процессе работы постоянными под влиянием различных случайных факторов. Поэтому остановочный путь S также изменяется по величине.

Обозначим через S_{max} и S_{min} наибольшее и наименьшее возможные значения пути S . Его среднее значение

$$S_0 = (S_{max} + S_{min}) / 2.$$

Датчик точной остановки ДТО устанавливают на расстоянии S_0 от уровня пола этажа (рис. 4-2). Тогда максимальная неточность остановки кабины, характеризуемая величиной

$$\Delta S_{max} = (S_{max} - S_{min}) / 2,$$

может быть подсчитана по формуле

$$\Delta S_{max} \approx S'_0 \left(\frac{\Delta t_{ап}}{t_{ап0}} + \frac{\Delta \omega_{нач}}{\omega_{нач0}} \right) + S''_0 \left(2 \frac{\Delta \omega}{\omega_{нач0}} + \frac{\Delta M_{т, \Sigma}}{M_{т, \Sigma 0}} + \frac{\Delta J_{\Sigma}}{J_{\Sigma 0}} \right), \quad (4-5)$$

где $\Delta \omega_{нач}$, $\Delta t_{ап}$, $\Delta M_{т, \Sigma}$, ΔJ_{Σ} — наибольшие возможные отклонения величин от их средних значений; S'_0 и S''_0 — составляющие остановочного пути, определенные по формулам (4-2) и (4-3) для средних значений $\omega_{нач0}$, $t_{ап0}$, $M_{т, \Sigma 0}$ и $J_{\Sigma 0}$.

Из выражения (4-5) следует, что повысить точность остановки можно в первую очередь путем снижения $\omega_{нач0}$, а также уменьшением времени $t_{ап0}$ и увеличением тормозного момента $M_{т, \Sigma 0}$. Поэтому следует применять быстродействующие аппараты (реле, контакторы и др.) и сокращать число последовательно срабатывающих аппаратов. Повышение момента механического тормоза может, однако, привести к увеличению темпа торможения кабины выше допустимого значения ($a_t = dv_k/dt > a_{доп}$).

Наиболее эффективно влияет на точность остановки начальная скорость кабины при торможении. Поэтому при больших рабочих скоростях лифта $v_{раб}$ необходимо заблаговременно снизить перед остановкой кабины ее скорость до значения $v_{нач} \leq v_{нач, доп}$, при которой неточность остановки ΔS_{max} не будет превосходить допустимого значения $\Delta S_{доп}$. Следовательно, электропривод должен обеспечить необходимый диапазон регулирования скорости $D = \omega_{раб} / \omega_{нач}$. Важно также, чтобы начальная скорость оставалась примерно постоянной при изменении загрузки кабины, для чего механическая характеристика двигателя при пониженной скорости должна быть достаточно жесткой.

Значения $\Delta S_{доп}$ лежат в пределах 35—50 мм — для пассажирских, грузопассажирских и грузовых свободно загружаемых лифтов; 10—15 мм — для грузопассажирских и грузовых лифтов с грузами на тележках. При расчетах точности остановки обычно принимают: $\Delta \omega_{нач} / \omega_{нач} = 0,2 \div 0,5$; $\Delta M_{м, т} / M_{м, т} = 0,1 \div 0,2$; $\Delta t_{ап} / t_{ап} = 0,15 \div 0,20$.

Начальную скорость $\omega_{нач0}$, при которой будет обеспечена необходимая точность остановки, можно определить, разрешив уравнение (4-5) относительно $\omega_{нач0}$.

4-3. ТИПЫ ЭЛЕКТРОПРИВОДА И ОСНОВНОЕ ЭЛЕКТРООБОРУДОВАНИЕ ЛИФТОВ

Для привода лифтов применяют двигатели с жесткими механическими характеристиками — трехфазные асинхронные и постоянного тока с независимым возбуждением, специально рассчитанные на повторно-кратковремен-

ный режим работы (серий АС, АСШ, МПЛ, а также кра-
новых серий), либо двигатели продолжительного режима
работы (серий АО2, 4А, П, 2П).

Для упрощения конструкции лифтовых установок и
возможности эксплуатации их персоналом средней ква-
лификации целесообразно применять наиболее простой
электропривод с асинхронным двигателем с короткоза-
мкнутым ротором. Однако такие двигатели могут быть
использованы только в тихоходных пассажирских и
грузовых лифтах.

Быстроходные лифты для повышения точности оста-
новки оборудуются асинхронными двухскоростными дви-
гателями, обеспечивающими пониженную скорость перед
остановкой кабины. Асинхронные двигатели с фазным
ротором устанавливаются в тихоходных и в редких слу-
чаях в быстроходных лифтах, обычно при ограниченной
мощности сети, питающей подъемную установку.

Для скоростных лифтов самым распространенным ти-
пом электропривода является система Г—Д, в которой
для питания обмотки возбуждения генератора применя-
ют магнитные, электромашинные и тиристорные усилите-
ли. Эта система дорога, сложна в наладке и эксплуата-
ции, но позволяет получить близкий к оптимальному за-
кон изменения скорости привода во время пуска и тор-
можения, а также обеспечить точность остановки кабины
в пределах жестких технических требований.

В настоящее время находят все большее применение
тиристорные преобразователи для питания якоря двига-
теля постоянного тока. Использование систем ТП—Д
совместно с унифицированными блоками управления
позволяет достаточно точно реализовать законы опти-
мального пуска и торможения, а также точную остановку
кабины скоростных лифтов.

Все электрооборудование лифтов выполняется в со-
ответствии с «Правилами устройства и безопасной экс-
плуатации лифтов». Напряжение главных цепей в шах-
тах, кабинах и на этажных площадках должно быть не
выше 380 В, осветительных цепей, а также цепей управ-
ления и сигнализации — не выше 220 В, переносных
ламп — не выше 36 В.

Для управления лифтами, кроме аппаратуры общего
применения (контакты, реле, кнопки управления, ко-
нечные выключатели и др.), используется специальная
аппаратура.

Этажные переключатели устанавливаются в стволе
шахты около каждого этажа и дают информацию о по-
ложении кабины, необходимую для построения схемы
автоматического выбора направления движения, а также
команду на отключение двигателя при остановке. Они
представляют собой трехпозиционные рычажные путе-

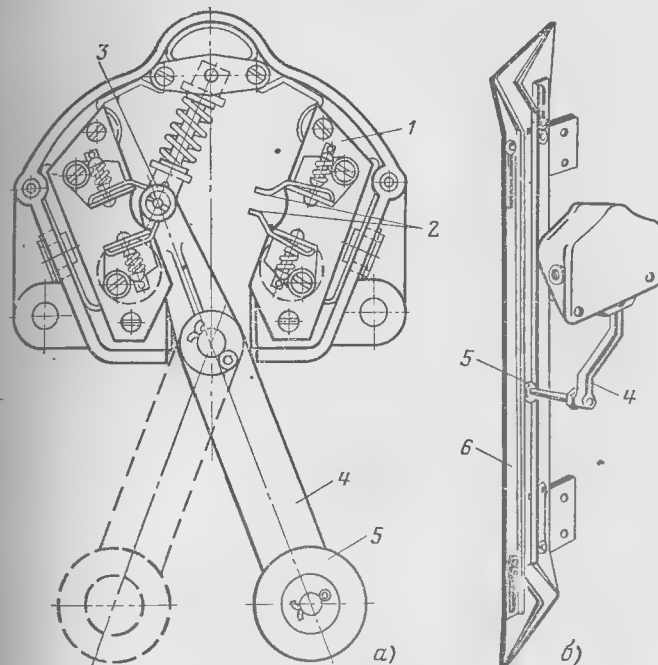


Рис. 4-3. Этажный переключатель (а) и отводка кабины (б).

вые командоаппараты (рис. 4-3, а). В корпусе на изоля-
ционной пластине 1 укреплены неподвижные контакты 2,
которые замыкаются подвижными контактами 3, распо-
ложенными на рычаге 4 с резиновым роликом 5 на конце.
При ходе кабины вверх под действием фасонной отвод-
ки 6 (рис. 4-3, б) рычаг 4 поворачивается вправо, при
ходе кабины вниз — влево. При этом замыкаются соот-
ветствующие пары неподвижных контактов. Когда каби-
на находится на уровне этажа, контакты переключателя
разомкнуты.

Рычажные переключатели применяют в схемах управления грузовыми лифтами. Общий вид переключателя показан на рис. 4-4. К кабине лифта крепится корпус 1 переключателя, через который проходит валик 3. На валик насажены рукоятка 2, которая располагается внутри кабины, и рычаг 4 на ее внешней стороне. Внутри

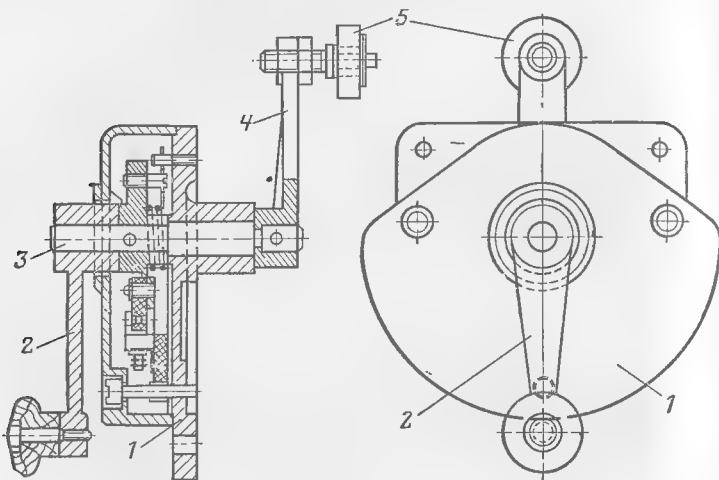


Рис. 4-4. Рычажный переключатель.

корпуса имеется пружина, которая стремится удержать рукоятку в среднем положении. При повороте рукоятки вправо или влево замыкается одна из пар контактов, через которые подается сигнал на включение двигателя лифта на подъем или спуск. При отпуске рукоятки контактная система размыкается, и двигатель отключается. Одновременно аппарат используется и как конечный выключатель, поскольку при подходе кабины к крайним положениям специальные направляющие воздействуют на ролик 5 рычага 4 и переводят его в исходное положение, что вызывает отключение привода.

Переключатели скорости имеют несколько другой конструктивный вид, но тот же принцип действия, что и этажные переключатели. Их устанавливают в стволе шахты на расстоянии 0,5—0,6 м ниже и выше уровня пола этажа; они служат для подачи импульса на снижение скорости перед остановкой кабины.

Существенным недостатком любой конструкции механических переключателей является их быстрая разрегулировка, особенно при больших скоростях движения механизма и частых переключениях. Такие переключатели при работе создают также значительный шум и радиопомехи. Поэтому в настоящее время все более широко

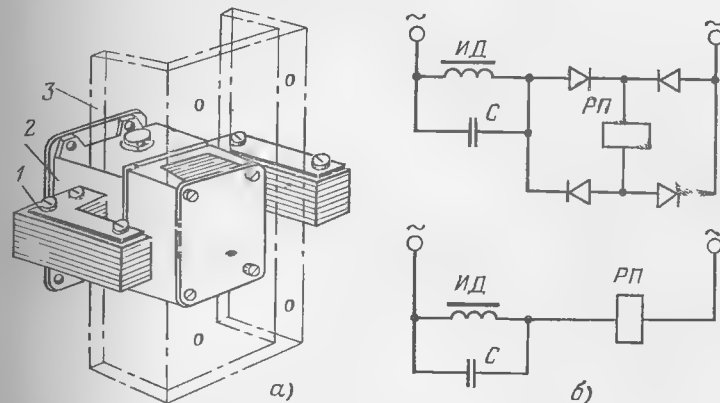


Рис. 4-5. Индуктивный датчик.
а — общий вид; б — схема включения.

применяются бесконтактные датчики, работающие на принципе изменения электрических параметров.

Индуктивные датчики ИД используются в качестве этажных переключателей и переключателей скорости в схемах управления быстроходными лифтами. Общий вид одного из вариантов конструкции датчика показан на рис. 4-5, а. П-образный стальной шихтованный сердечник 1, на котором находится катушка 2, устанавливается в стволе шахты. Фасонная стальная скоба (магнитный шунт) 3 прикрепляется к кабине. При разомкнутой магнитной системе сопротивление катушки датчика будет невелико. Когда стальная скоба при движении кабины перекрывает магнитную систему датчика, резко возрастает его индуктивное сопротивление и скачком изменяется ток в цепи катушки. Это обстоятельство можно использовать для включения и отключения реле управления РП (рис. 4-5, б), работающих на переменном или постоянном токе. Для обеспечения надежной и четкой работы реле параллельно катушке 2 включается конденса-

тор C , емкость которого подбирают из условия пблучения в контуре режима, близкого к резонансу токов.

Все большее применение находят также путевые датчики типа ДПЭ с герконами [21].

Этажные реле (их количество равно числу этажей здания) включаются по одному последовательно с катушками контакторов направления $KВ$ или $KН$ (см. рис. 4-8, а) и служат для шунтирования вызывных и пусковых кнопок.

Дверные контакты предназначены для блокировки, позволяющей кабине лифта перемещаться лишь при закрытых дверях кабины и шахты, что необходимо по соображениям безопасности. Дверные контакты представляют собой малогабаритные конечные выключатели для цепей управления (типов В-10, ВБ-30 и др.) с контактом, который замыкается при закрытии двери.

Контакты пола имеют такое же устройство, как и дверные. Они приводятся в действие при входе пассажира в кабину, так как пол кабины выполняется подвижным (одной стороной крепится на шарнире). В схемах управления лифтами контакты пола используются для различных целей: для исключения вызова кабины с пассажирами на другой этаж кнопками на этажных площадках, для обеспечения вызова кабины на этажи после выхода пассажиров и закрытия дверей шахты, а также для перемещения пустой кабины при открытых ее дверях (в лифтах старых конструкций).

Контакты ловителя связаны с механизмом захвата ловителя. При его срабатывании контакты замыкаются и отключают двигатель лифта.

Магнитная отводка — электромагнитное устройство (применяется в лифтах старых конструкций), устанавливаемое на кабине и контролирующее работу замков дверей шахты. Магнитная отводка имеет специальный упор, соединенный с якорем электромагнита. Когда кабина находится на этаже, катушка магнитной отводки не получает питания, и под действием пружины упор отводит защелку замка дверей шахты, позволяя их открыть. При движении кабины на катушку подается напряжение, упор убирается, и дверь шахты остается закрытой. Такие отводки применялись в лифтах с ручным приводом дверей шахты.

4-4. РАСЧЕТ НАГРУЗОК И ВЫБОР МОЩНОСТИ ДВИГАТЕЛЕЙ ЛИФТОВ

Выбор мощности двигателя лифта заключается в предварительном подборе двигателя по статической нагрузке за цикл работы и последующей проверке на нагрев с учетом переходных процессов при пуске и торможении привода.

Современные лифты имеют противовесы, которые выбираются с таким расчетом, чтобы противовес уравновешивал силу тяжести пустой кабины G_0 и части номинального поднимаемого груза $\alpha G_{ном}$:

$$G_{пр} = G_0 + \alpha G_{ном}, \quad (4-6)$$

где $G_{пр}$ — сила тяжести противовеса, Н; α — коэффициент уравновешивания, который обычно принимается равным 0,4—0,6.

Противовес в подъемниках необходим, так как при его отсутствии для перемещения загруженной кабины потребовалось бы увеличение мощности двигателя и, кроме того, привод совершал бы дополнительную работу по подъему и торможению при спуске не только полезного груза G , но и балластного груза G_0 .

Если пренебречь трением в направляющих кабины и противовеса, то в соответствии со схемой на рис. 4-6 без учета силы тяжести несущих канатов HK усилие F_c , Н, на канатопроводящем шкиве $KШ$ определится как разность сил F_1 и F_2 , т. е.

$$F_c = F_1 - F_2 = G - \alpha G_{ном}, \quad (4-7)$$

где $F_1 = G_0 + G$ и $F_2 = G_{пр}$ — усилия в набегающей и сбегавшей ветвях канатов, Н.

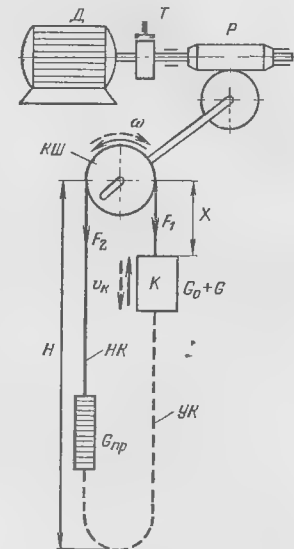


Рис. 4-6. Кинематическая схема лифта.

Д — двигатель; Т — тормоз; Р — редуктор; КШ — канатопроводящий шкив; К — кабина.

Из формулы (4-7) следует, что нагрузка двигателя, определяемая усилием F_c , зависит от загрузки кабины и от коэффициента уравнивания α . Кроме того, при значительной высоте подъема H и большой грузоподъемности лифта существенное влияние на нагрузку станет оказывать сила тяжести несущих канатов. В этих случаях лифты снабжают уравнивающими канатами УК.

При $F_c > 0$ двигатель лифта будет работать в двигательном режиме при подъеме кабины и в генераторном режиме при ее спуске, при $F_c < 0$ — в генераторном режиме при подъеме и в двигательном режиме при спуске.

Статическая мощность и момент на валу двигателя определяют по формулам:

$$\left. \begin{aligned} P_{c1} &= F_c v_k \cdot 10^{-3} / \eta_{п1}; \quad M_{c1} = F_c D_{к,ш} / (2 i_p \eta_{п1}); \\ P_{c2} &= F_c v_k \eta_{п2} \cdot 10^{-3}; \quad M_{c2} = F_c D_{к,ш} \eta_{п2} / (2 i_p), \end{aligned} \right\} \quad (4-8)$$

где P_{c1} , M_{c1} и P_{c2} , M_{c2} — мощность, кВт, и момент, Н·м, при работе привода соответственно в двигательном и генераторном режимах; $D_{к,ш}$ — диаметр канатоповодящего шкива, м; i_p — передаточное число редуктора; $\eta_{п1}$ и $\eta_{п2}$ — КПД редуктора при прямой и обратной передаче мощности.

Поскольку нагрузки лифта и циклы его работы, как правило, могут быть весьма различными, то предварительный выбор мощности двигателя удобнее выполнить исходя из условного расчетного цикла. Этот цикл состоит из рабочих операций подъема номинального груза с первого этажа на последний и спуска пустой кабины на первый этаж.

Приняв, что скорости подъема и спуска кабины v_k одинаковы и равны номинальной скорости $v_{ном}$, т.е. времена подъема $t_{п}$ и спуска t_c равны, и определив по формулам (4-8) значения статических мощностей P_{c1} и P_{c2} для указанных нагрузок, находят эквивалентную статическую мощность за суммарное время рабочих операций:

$$P_{с,э,р} = \sqrt{\frac{P_{c1}^2 t_{п} + P_{c2}^2 t_c}{t_{п} + t_c}} = \sqrt{\frac{P_{c1}^2 + P_{c2}^2}{2}}. \quad (4-9)$$

При расчете P_{c1} и P_{c2} допустимо считать, что значения КПД редуктора $\eta_{п1} = \eta_{п2} = \eta_{р, ном}$.

Продолжительностью включения $PВ_{расч}$ следует задаться, имея в виду, что, например, для пассажирских лифтов жилых домов $PВ \approx 40\%$, для лифтов административных зданий $PВ \approx 60\%$. Следовательно, значение $PВ_{расч}$ можно принять равным соответствующему значению $PВ_{ном}$.

Тогда требуемая мощность двигателя $P_{дв}$, кВт, при $PВ_{ном}$ определится как

$$P_{дв} = k_3 P_{с,э,р}, \quad (4-10)$$

где $k_3 = 1,3 \div 1,5$ — коэффициент запаса, учитывающий влияние на нагрев двигателя динамических нагрузок, которые обычно бывают значительными.

Необходимая угловая скорость двигателя, рад/с

$$\omega_{дв} = 2v_{ном} i_p / D_{к,ш}. \quad (4-11)$$

Затем по каталогу выбирают двигатель повторно-кратковременного режима работы по условиям

$$P_{ном} \geq P_{дв}, \quad \omega_{ном} \approx \omega_{дв}. \quad (4-12)$$

Для проверки выбранного двигателя на нагрев рассчитывают одну — две нагрузочные диаграммы двигателя $M = f(t)$ с учетом статических и динамических нагрузок для наиболее типичных циклов работы лифта. В качестве примера в табл. 4-1 указан один из возможных вариантов цикла работы пассажирского лифта 9-этажного здания.

Порядок построения нагрузочной диаграммы электропривода и ход проверки двигателя на нагрев те же, что и для двигателей механизмов крана (§ 3-7). Стати-

Таблица 4-1
Цикл работы лифтовой установки 9-этажного здания

Наименование параметра	Подъем на 3-й этаж	Пауза	Подъем на 6-й этаж	Пауза	Подъем на 9-й этаж	Пауза	Спуск на 1-й этаж	Пауза
Статический момент $M_{сi}$, Н·м	$M_{с1}$	—	$M_{с2}$	—	$M_{с3}$	—	$M_{с4}$	—
Высота подъема (спуска) h_i , м	h_1	0	h_2	0	h_3	0	$h_4 = H$	0

ческие моменты $M_{с, i}$ определяют по формулам (4-8). Времена пуска $t_{п, i}$, торможения $t_{т, i}$, установившегося движения $t_{у, i}$ и соответствующие пути, проходимые кабиной, определяют по формулам § 3-7. Суммарное время движения кабины за цикл $\Sigma t_{р, i} = \Sigma t_{у, i} + \Sigma t_{п, i} + \Sigma t_{т, i}$, суммарное время остановок Σt_{oi} и время цикла $t_{ц} = \Sigma t_{р, i} + \Sigma t_{oi} + t_{доб}$.

При расчете времени пуска и торможения важно иметь в виду, что момент инерции привода, $\text{кг} \cdot \text{м}^2$, создается всеми вращательно и поступательно движущимися массами, приведенными к валу двигателя:

$$J_{\Sigma} = J_{дв} + J_{пр} = J_{дв} + J_{вр} + J_{пр}, \quad (4-13)$$

где $J_{дв}$ — момент инерции ротора двигателя; $J_{вр}$ — приведенный момент инерции вращающихся масс лебедки, тормоза и соединительных муфт; приближенно берут $J_{вр} \approx k J_{дв} = 0,1 J_{дв}$; $J_{пр}$ — приведенный момент инерции всех движущихся масс лифтовой установки, который равен $J_{пр} = (m_{гр} + m_{пр} + m_{к} + m_{н, к} + m_{у, к}) (v_{к} / \omega_{дв})^2$; $m_{гр}$, $m_{пр}$, $m_{к}$, $m_{н, к}$ и $m_{у, к}$ — масса соответственно груза, противовеса, кабины, несущего и уравнивающего канатов.

Если $J_{пр}$ соизмерим с $J_{дв}$, то при определении J_{Σ} используют формулы (3-12), (3-13).

Дополнительное время $t_{доб}$ принимается равным $0,1(\Sigma t_{р, i} + \Sigma t_{oi})$; оно учитывает время движения кабины на пониженной скорости, время возможных задержек и другие факторы. Время остановки (пауза) — это время, необходимое для открывания и закрывания дверей кабины и шахты, входа и выхода пассажиров, погрузки и разгрузки грузов, а также для включения двигателя лифта. Для пассажирских лифтов с автоматическим приводом дверей время остановки составляет 6—8 с.

Так же как и для мостовых кранов, производят проверку двигателя лифта по кратковременной перегрузке, надежности пуска и допустимым ускорениям и замедлениям.

4-5. ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ СХЕМЫ АВТОМАТИЧЕСКОГО УПРАВЛЕНИЯ ЛИФТАМИ

Лифт является движущейся установкой с относительно сложным электрооборудованием. Ею часто управляют пассажиры, не имеющие соответствующей ква-

лификации, и их роль при пользовании лифтом должна сводиться к нажатию одной-двух кнопок. Поэтому к схемам управления лифтами предъявляются повышенные требования в отношении надежности и безопасности пользования. Эти требования особенно высоки в лифтах без проводника с автоматическим приводом дверей, где отсутствует постоянный надзор за работой лифта.

В схемах управления лифтами используется большое число блокировочных аппаратов, предотвращающих неправильное пользование лифтом. Например, при открытых дверях шахты и кабины, открытом верхнем люке кабин, ослабленных канатах электропривод отключается и накладывается механический тормоз.

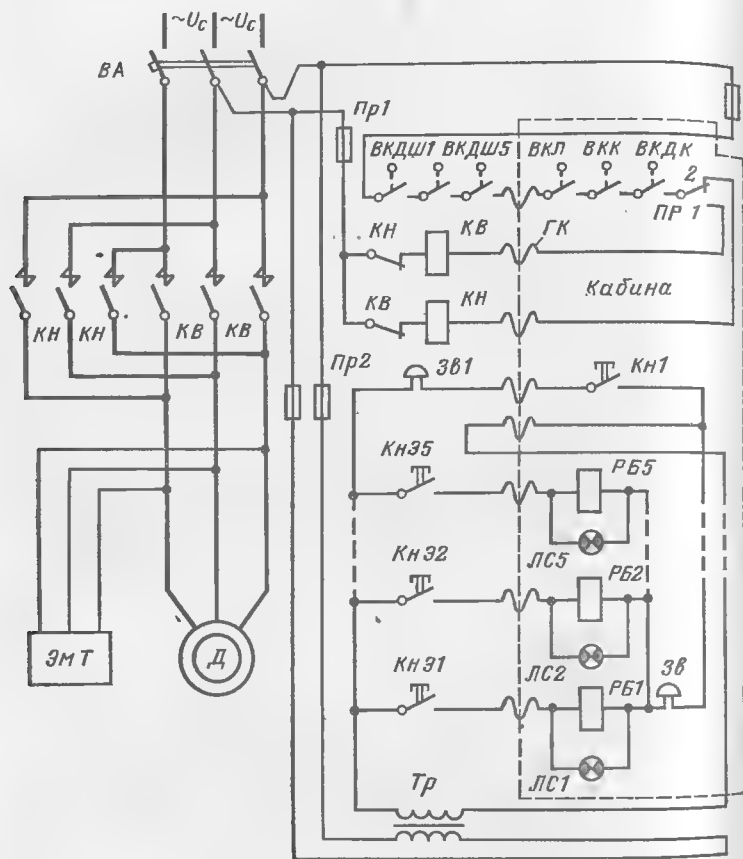
Рассмотрим некоторые типовые схемы управления лифтами.

Схема управления грузовым лифтом. Грузовые лифты работают преимущественно с проводником при скорости движения 0,25—0,5 м/с. Принципиальная электрическая схема такого лифта показана на рис. 4-7. Привод осуществляется от асинхронного двигателя с короткозамкнутым ротором D . Параллельно обмотке статора включен электромагнитный тормоз $\mathcal{Э}мТ$, колодки которого разжимаются при подаче напряжения на двигатель. Командным аппаратом в схемах управления такими лифтами является рычажный переключатель $ПР$ (в схеме на рис. 4-7 лифт обслуживает пять этажей).

Для пуска двигателя на подъем или спуск кабины переключатель $ПР$ следует поставить соответственно в положение 1 (или 2). Через контакты дверей шахты $ВКДШ1—ВКДШ5$, контакты конечных выключателей $ВКЛ$ и $ВКК$ (размыкающихся при срабатывании механизма ловителей при обрыве несущих канатов), контакт дверей кабины $ВКДК$ и гибкий кабель $ГК$ от сети подается напряжение на катушку контактора $КВ$ (или $КН$). После включения контактора $КВ(КН)$ на статор двигателя D и катушки электромагнитного тормоза $\mathcal{Э}мТ$ будет подано питание, и кабина лифта начнет двигаться вверх (или вниз).

Для остановки кабины рукоятку переключателя $ПР$ следует поставить в среднее положение, что вызывает отключение контактора $КВ$ (или $КН$) и остановку двигателя. Если кабина по каким-либо причинам не остановилась против уровня этажной площадки, то ее доводку можно произвести путем повторного включения

Вызов кабины на этажи производится с помощью кнопок *КнЭ1—КнЭ5*. При воздействии на любую из них



в кабине срабатывает соответствующее указательное реле *РБ1—РБ5*, включается звонок *Зв* и загорается соответствующая сигнальная лампочка *ЛС1—ЛС5*. Проводник включает привод на требуемое перемещение кабины. В случае неисправности лифта из кабины в диспетчерскую может быть подан сигнал путем включения звонка

Схема управления быстроходным пассажирским лифтом. Электропривод быстроходного лифта (рис. 4-8, а) осуществляется от двухскоростного асинхронного двигателя, имеющего на статоре две отдельные обмотки с соотношением числа полюсов 6/24 или 6/18, что соответствует синхронным угловым скоростям 104,7/26,2 или 104,7/34,9 рад/с.

В системе привода не предусмотрено ограничение ускорения при пуске, так как при правильном выборе двигателя по мощности $M_{п, max} < M_{п, доп}$, и пусковые ускорения $a_{п} \leq 1-1,2 \text{ м/с}^2$ при $a_{доп} = 1,5 \text{ м/с}^2$. Точная остановка кабины достигается путем перехода с высокой скорости $\omega_{раб}$ (включен контактор КБ) на низкую $\omega_{ост}$ (включен контактор КМ). При этом будет происходить генераторное торможение, что видно из механических характеристик двигателя, показанных на рис. 4-8, б. При торможении по характеристике 2 $M_{т, max} > M_{т, доп}$ и $a_{т} > a_{доп}$. Поэтому для ограничения момента двигателя, а следовательно, и величины $a_{т}$ в этом режиме в одну из фаз статорной обмотки вводится дополнительный резистор $R_{д}$, и двигатель переходит на характеристику 2'. После снижения скорости до значения ω_1 резистор $R_{д}$ шунтируется контактором КУ, управление которым производится в функции времени. Двигатель переходит на основную характеристику 2, на которой некоторое время работает с установившейся скоростью $\omega_{ост}$, равной начальной скорости $\omega_{нач}$ для точной остановки.

Управление лифтом может производиться как из кабины с помощью командных кнопок $K_n K_1—K_n K_9$ (здание имеет 9 этажей), так и с этажных площадок посредством вызовных кнопок $K_n B_1—K_n B_9$. Рассмотрим работу схемы при вызове кабины с 9-го этажа пассажиром, находящимся на 1-м этаже. Для этого пассажир должен нажать кнопку $K_n B_1$. Образуется следующая электрическая цепь: контакты кнопки $K_n C$ (Стоп) и конечных выключателей дверей шахты $BK ДШ 1—BK ДШ 9$, контакты выключателей ловителя $BK Л$ и катушек BKK , контакт дверей кабины $BK ДК$ или контакт пола $BK П 1$, размыкающие вспомогательные контакты контакторов $KУ$, $KВ$ и $KН$, контакт пола $BK П 2$ (этот контакт разрывает цепь кнопок $K_n B_1—K_n B_9$ на этаж-

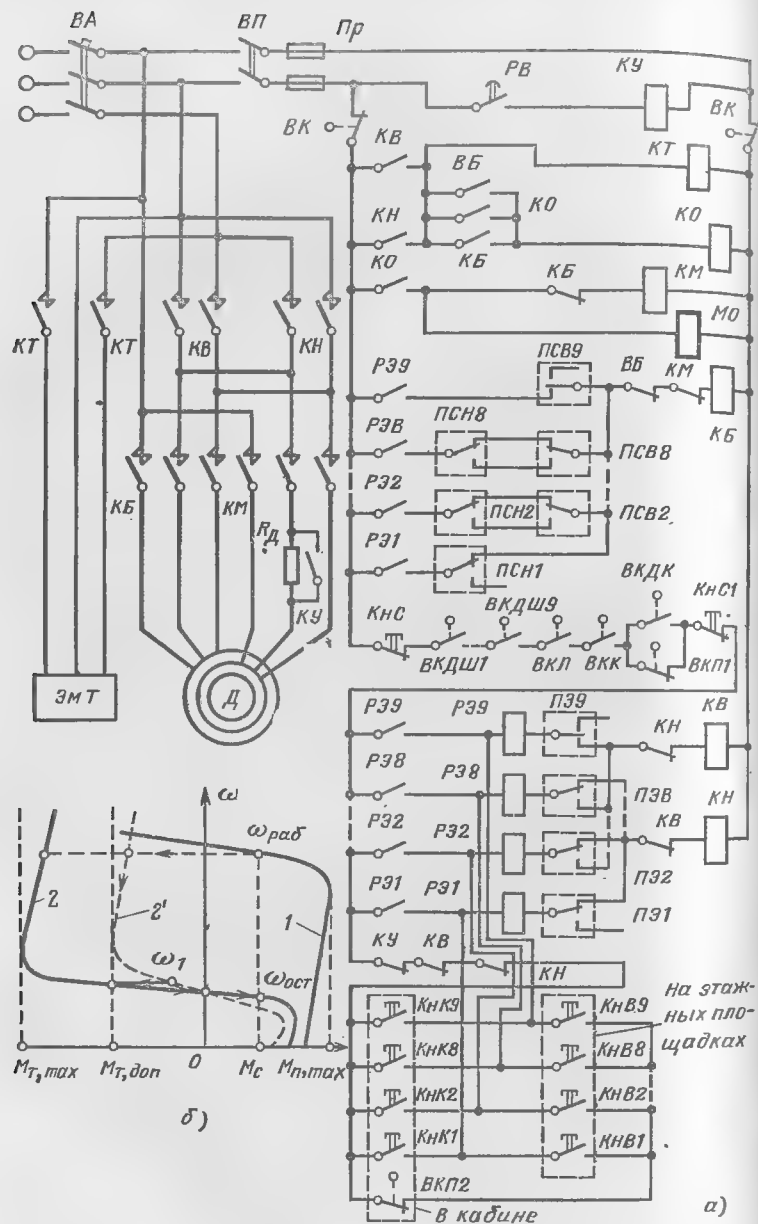


Рис. 4-8. Электропривод пассажирского быстроходного лифта.

а — электрическая схема; б — механические характеристики двухскоростного асинхронного двигателя.

ных площадках, если в кабине находятся пассажиры), контакт кнопки $КнВ1$, катушка этажного реле $РЭ1$, контакт этажного переключателя $ПЭ1$, размыкающий вспомогательный контакт $КВ$, катушка контактора $КН$.

По образовавшейся цепи питания включаются контактор $КН$ и этажное реле $РЭ1$, которые своими замыкающими контактами шунтируют кнопку $КнВ1$ и подают питание на катушку контактора большой скорости $КБ$ по следующей цепи: контакты реле $РЭ1$ и переключателя скорости $ПСН1$, контакты выключателя большой скорости $ВБ$ (отключаемого для режимов ревизии и наладки), размыкающий вспомогательный контакт $КМ$, катушка контактора $КБ$. Одновременно контактор $КН$ своим замыкающим вспомогательным контактом включает контактор $КТ$, электромагнит тормоза $ЭМТ$ получает питание и растормаживает двигатель $Д$.

Силовые контакты контакторов $КН$ и $КБ$ подключают первую обмотку статора $Д$ (большой скорости) к сети, и происходит пуск двигателя по характеристике 1 до угловой скорости $\omega_{раб}$. Вслед за включением контактора $КБ$ через его замыкающий вспомогательный контакт включается контактор отводки $КО$, который подает напряжение на электромагнит отводки $МО$ и подготавливает к включению контактор $КМ$.

Кабина лифта движется вниз и установленной на ней отводкой будет переставлять подвижные контакты переключателей $ПСН8$ — $ПСН2$, $ПСВ8$ — $ПСВ2$ и $ПЭ8$ — $ПЭ2$ из верхнего положения в нижнее. При подходе кабины к 1-му этажу контакт $ПСН1$ переводится из верхнего положения в среднее, в результате чего отключается контактор $КБ$ и включается контактор $КМ$. К сети подключается вторая обмотка статора двигателя $Д$ с большим числом полюсов (тихоходная). Двигатель начинает тормозиться по характеристике 2' (рис. 4-8, б) и работает в генераторном режиме с введением в одну из фаз статора резистора R_d . Этот процесс контролируется маятниковым реле времени $РВ$, пристроенным к контактору $КМ$. После срабатывания реле $РВ$ включается контактор $КУ$ и шунтирует резистор R_d , осуществляя переход двигателя на основную характеристику 2.

Как только пол кабины приблизится к уровню пола 1-го этажа, переключатель $ПЭ1$ становится в среднее положение и отключает контакторы $КН$, $КТ$, $КО$, $КМ$ и реле $РЭ1$. Двигатель отключается от сети, накладывает

ся тормоз и происходит механическое торможение привода с начальной угловой скорости $\omega_{\text{ост}}$. При отключении контактора КО теряет питание магнит отводки МО и своим выступом упирается в защелку замка шахтной двери на 1-м этаже, что дает возможность пассажирам открыть ее.

В схеме на рис. 4-8 показаны цепи сигнализации, указывающей, занята ли кабина или свободна, а также цепи аварийной сигнализации.

В рассмотренном лифте процесс открывания и закрывания дверей осуществляется вручную, невозможен прием пассажиров по пути следования кабины, нет сигнализации о перегрузке лифта и т. д. В последние годы стали широко применяться пассажирские лифты с автоматическим приводом дверей, в которых отсутствуют указанные недостатки, что позволяет повысить комфортабельность и производительность лифта. В схемах управления такими лифтами имеются дополнительные узлы, которые выполняют следующие основные логические операции: регистрацию и отработку вызовов и приказов, выбор направления движения, обеспечение включения двигателей дверей и подъема, точную остановку кабины, различного рода сигнализацию. Последовательность работы узлов привода устанавливается программой, осуществляемой схемой автоматического управления. При поступлении в схему соответствующего сигнала, например на движение, вначале срабатывает привод дверей и подготавливает кабину к движению. Затем включается электропривод подъема, обеспечивая движение кабины с высокой скоростью, а также переход на малую скорость при подходе ее к требуемому этажу. После остановки кабины снова включается привод дверей, но уже на их открывание. В схеме может быть предусмотрено также выполнение попутных вызовов при движении кабины вниз. В случае движения загруженной кабины вверх вызовы не принимаются. При движении кабины с пассажирами и наличии нескольких зарегистрированных приказов остановка происходит на ближайшем по направлению движения этаже. Такие схемы управления лифтами описаны в [6, 21].

Глава пятая

ЭЛЕКТРООБОРУДОВАНИЕ НАЗЕМНЫХ ЭЛЕКТРОТЕЛЕЖЕК И МЕХАНИЗМОВ НЕПРЕРЫВНОГО ТРАНСПОРТА

5-1. ЭЛЕКТРООБОРУДОВАНИЕ НАЗЕМНЫХ ЭЛЕКТРОТЕЛЕЖЕК

Электротележки (электрокары) применяются для транспортировки различных грузов на площадках с твердым и ровным покрытием (асфальт, бетон). Электротележки могут работать в узких проходах производственных и складских помещений, где работа других видов транспорта невозможна. Хорошая маневренность, удобное управление, простота обслуживания, отсутствие при работе вредных для человека газов, бесшумность делают электротележку незаменимым универсальным средством перевозки грузов на небольшие расстояния.

В последние годы широкое распространение получили однодвигательные аккумуляторные тележки типа ЭТ-2040 (рис. 5-1). Электротележка имеет двухосное шасси на пневматических шинах с передним управляемым и задним ведущим мостами. На шасси крепится рама; ее верхняя часть представляет собой деревянную грузовую платформу, под которой расположена аккумуляторная батарея. Движение ведущим колесам передается от двигателя постоянного тока последовательного возбуждения посредством карданного вала и дифференциала. Электротележка оборудована двумя системами тормозов: ножным тормозом с гидравлическим приводом, действующим на задние колеса, и ручным тормозом с механическим приводом, установленным на валу двигателя.

Основные технические данные электротележки ЭТ-2040: грузоподъемность 2000 кг, масса тележки 1860 кг, скорость движения с грузом 16 км/ч, без груза 22 км/ч, двигатель передвижения типа РТ-2 ($P_{\text{ном}}=3,2$ кВт, $U_{\text{ном}}=40$ В, $I_{\text{ном}}=100$ А, $\omega_{\text{ном}}=100$ рад/с, $\text{ПВ}_{\text{ном}}=40\%$), закрытый с естественным охлаждением.

Принципиальная электрическая схема тележки типа ЭТ-2040 показана на рис. 5-2, а. Электрические цепи получают питание от аккумуляторной батареи, состоящей из двух секций Б1 и Б2. Для коммутации силовых

цепей используются контакторы $K1-K7$ и кремниевые вентили $D1, D2$ (типа В2-200-3Б).

Двигатель D управляется поворотным контроллером, состоящим из кулачкового вала и микропереключателей $Kp1-Kp6$. Вращение вала контроллера осуществляется на 60° от педали водителя, при этом в каждом положе-

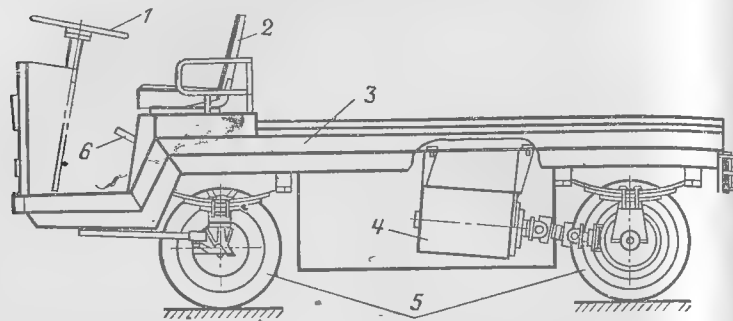


Рис. 5-1. Общий вид электрической тележки.

1 — рулевое управление; 2 — сиденье водителя; 3 — корпус тележки; 4 — двигатель; 5 — ходовые колеса; 6 — рукоятка тормоза.

нии происходит переключение контактов в соответствии с диаграммой на рис. 5-2, б. Регулирование скорости тележки производится изменением напряжения на якоре двигателя D путем переключения диодами $D1, D2$ и контактором $K1$ секций аккумуляторной батареи $B1$ и $B2$ с параллельного соединения на последовательное, введением резистора $R1$ в цепь якоря и шунтированием обмотки возбуждения $ОВМ$ резистором $R2$.

Для подготовки тележки к работе следует включить выключатель $B1$, поставить реверсивный переключатель $B3$ в одно из положений *Вперед* или *Назад* и растормозить ручной тормоз (замкнется контакт выключателя $B2$). Последовательность коммутации аппаратов схемы при пуске и регулировании скорости двигателя D в соответствии с позициями контроллера следующая:

1. В положении 1 контроллера через замкнувшийся контакт $Kp1$ и контакт *Вперед* (или *Назад*) переключателя $B3$ получает питание контактор $K4$ (или $K6$) и своим главным контактом подготавливает к включению цепь якоря двигателя.

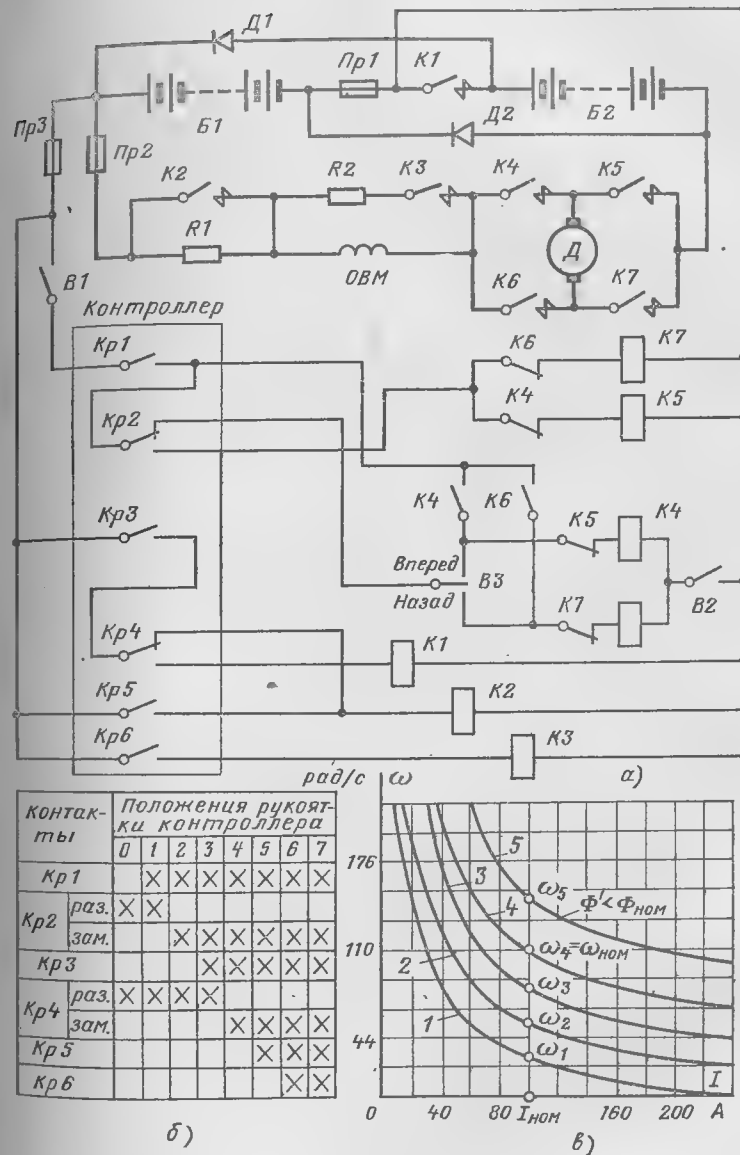


Рис. 5-2. Электропривод электротележки типа ЭТ-2040.

а — электрическая схема; б — диаграмма переключений контактов $Kp1-Kp6$ на положениях рукоятки контроллера; в — скоростные характеристики двигателя.

2. В положении 2 контроллера переключается контакт $Kp2$ и включается контактор $K7$ ($K5$), замыкая силовую цепь двигателя D . Секции батарей $B1$ и $B2$ через диоды $D1$ и $D2$ соединяются параллельно, резистор $R1$ введен. Двигатель пускается и работает на характеристике 1 со скоростью ω_1 (рис. 5-2, в), если ток нагрузки $I_c = I_{ном}$. Катушки реверсивных контакторов $K7$ ($K5$) и $K4$ ($K6$) получают питание через вспомогательные контакты $K6$ ($K4$) и $K5$ ($K7$), чем обеспечивается блокировка положения 2 контроллера.

3. В положении 3 контроллера через контакты $Kp3$ и $Kp4$ получает питание контактор $K2$ и своим контактом выводит резистор $R1$; секции батарей остаются соединенными параллельно, двигатель работает на характеристике 2 со скоростью ω_2 .

4. В положении 4 контроллера переключается контакт $Kp4$ и включается контактор $K1$, а контактор $K2$ отключается. Секции батарей $B1$ и $B2$ силовым контактом $K1$ соединяются последовательно, к якорной цепи подводится номинальное напряжение $U_{ном}$ при включенном резисторе $R1$, и двигатель D работает на характеристике 3 со скоростью ω_3 .

5. В положении 5 контроллера снова включается контактор $K2$, резистор $R1$ закорачивается, и двигатель работает на естественной характеристике 4 со скоростью $\omega_4 = \omega_{ном}$.

6. В положениях 6—7 контроллера через контакт $Kp6$ включается контактор $K3$, параллельно $ОВМ$ подключается резистор $R2$, ослабляется поток возбуждения, и двигатель будет развивать скорость $\omega_5 > \omega_{ном}$, работая на характеристике 5.

Торможение тележки осуществляется механическим тормозом при нажатии на тормозную педаль, при этом нужно предварительно отпустить педаль контроллера. Под действием тормозной педали размыкается контакт $B2$, теряет питание контактор $K4$ (или $K6$), и двигатель отключается от источника питания.

Полная электрическая схема электротележки включается в себя цепи освещения и сигнализации, которые не показаны на рис. 5-2, а. Защита силовой цепи от токов к. з. и длительных перегрузок обеспечивается предохранителями $Пр1$ в цепи аккумуляторной батареи (в случае пробоя вентилях $D1$ или $D2$) и $Пр2$ — в цепи двигателя D . Цепи управления защищаются предохранителем $Пр3$.

Аккумуляторные тележки снабжаются кислотными или щелочными аккумуляторами; последние более выносливы в условиях тряски, менее чувствительны к перегрузкам и к. з. Так, на электротележке типа ЭТ-2040 установлена аккумуляторная батарея типа 36ТЖН-400, состоящая из 36 последовательно соединенных щелочных железо-никелевых элементов емкостью 400 А·ч каждый.

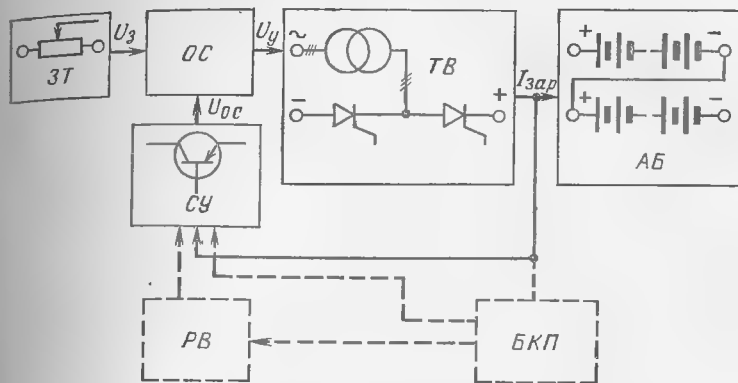


Рис. 5-3. Структурная схема зарядного устройства типа УЗА.

U_3 — задающий сигнал; $U_{ос}$ — сигнал обратной связи; U_y — напряжение управления тиристорным преобразователем.

В целях безопасности напряжение аккумуляторных батарей обычно не превышает 65 В. Предельные значения разрядного и зарядного тока указываются в паспорте батарей.

Зарядка батарей может производиться только постоянным током, поэтому на промышленных предприятиях устанавливаются специальные зарядные преобразовательные устройства. Ранее для этой цели использовались двигатель-генераторы, а в настоящее время применяют полупроводниковые выпрямители на кремниевых вентилях, имеющие высокий КПД, бесшумные в работе и более надежные в эксплуатации.

На рис. 5-3 приведена структурная электрическая схема автоматического зарядного устройства типа УЗА. Силовая часть устройства состоит из управляемого тиристорного выпрямителя $ТВ$, питающего аккумуляторную батарею $АБ$, собранного по трехфазной мостовой

схеме и подключенного через трансформатор к сети переменного тока. Система управления СУ представляет собой замкнутую систему автоматического регулирования с отрицательной обратной связью по току заряда $I_{зар}$. Она обеспечивает поддержание постоянства заданного значения тока при изменении напряжения батареи в процессе заряда и колебаниях напряжения питающей сети. Регулирование тока заряда осуществляется изменением угла отпирания тиристоров, а задание значения $I_{зар}$ — задатчиком тока ЗТ.

В автоматическом режиме работы УЗА процесс зарядки контролируется реле времени РВ и по истечении заданной выдержки времени реле отключает зарядное устройство от сети. В режиме ручного управления отключение производится оператором.

Схема УЗА предусматривает защиту от токов к. з. и неправильного (по полярности) подключения аккумуляторной батареи контролируемого блоком полярности БКП, а также световую сигнализацию и контроль по приборам зарядного тока и напряжения.

5-2. НАЗНАЧЕНИЕ И УСТРОЙСТВО МЕХАНИЗМОВ НЕПРЕРЫВНОГО ТРАНСПОРТА

Механизмы непрерывного транспорта широко используются на электромашиностроительных заводах для межоперационных перемещений внутри цехов и между цехами различных заготовок, деталей и сборочных единиц, удаления с рабочих мест отходов металлообработки, подачи сыпучих формовочных материалов, транспортировки готовых электрических машин и т. д. К этим механизмам в первую очередь относятся конвейеры различных типов: ленточные, подвесные, роликовые и др.

Основным конструктивным элементом наиболее часто применяемого ленточного конвейера является замкнутый, непрерывно движущийся в процессе работы тяговый орган, который выполняется в виде ленты (текстильной прорезиненной, стальной и т. п.).

На рис. 5-4 показано устройство ленточного конвейера. На два барабана натягивается замкнутая лента 1. Правый барабан 2 является ведущим (приводным) — через механическую передачу 3 (чаще всего ременную) он приводится во вращение от двигателя 4. Подшипники ле-

детелей и узлов машин или для сборки машин в едином поточном технологическом процессе (например, поточные линии сборки асинхронных двигателей единой серии). Основным транспортным оборудованием ПТС являются различного рода конвейеры малой и большой протяженности.

Достоинство конвейеров — это непрерывность их действия без остановок на загрузку и выгрузку, что особенно важно для поточных линий. Кроме того, конвейеры проще по устройству и в эксплуатации, а также имеют большую производительность, чем работающие периодически краны и подъемники.

Различают конвейеры, работающие одиночно и совместно. Для нескольких совместно работающих конвейеров (см. рис. 5-9) принимающими называют те из них, на которые груз поступает; конвейеры, с которых грузы снимаются, называют головными; остальные из совместно работающих конвейеров — промежуточные.

5-3. ОСОБЕННОСТИ ЭЛЕКТРОПРИВОДА И ВЫБОР МОЩНОСТИ ДВИГАТЕЛЕЙ КОНВЕЙЕРОВ

При значительном конструктивном разнообразии конвейеров большинству из них присущи следующие характерные особенности, обусловленные режимом эксплуатации:

а) продолжительный режим работы, как правило, в течение значительных промежутков времени (смены или нескольких смен) без пауз за время включения;

б) относительно редкие пуски, продолжительность которых не влияет на производительность конвейера, и практически неизменное направление вращения двигателя;

в) возможность возникновения значительных статических моментов при трогании, превосходящих иногда номинальные нагрузки ($M_{с,тр} > M_{с,ном}$), например при пуске нагруженных конвейеров после внезапной (аварийной) остановки;

г) работа двигателей конвейеров при самых различных условиях окружающей среды: на открытом воздухе, в запыленных и влажных помещениях, при высокой и низкой температурах, в цехах с агрессивной средой.

В связи с указанными особенностями к электроприводу конвейеров предъявляются требования обеспечения

Figure 1 consists of two schematic diagrams of gas turbine engines, labeled (a) and (б).
 Diagram (a) shows a single-shaft engine. It features a compressor (НБ) at the front and a turbine (ПБ) at the rear, both mounted on a single horizontal shaft. A gas generator (ГД) is shown at the front, with a gas inlet (1) and outlet (2). A force vector F is applied to the compressor. The turbine is connected to a gas generator (ГД) at the rear, with a gas inlet (3) and outlet (4). A force vector $F_{Наб}$ is applied to the turbine. The shaft is labeled $\alpha)$.
 Diagram (б) shows a two-shaft engine. It features a compressor (НБЗ) at the front, an intermediate turbine (ПБ2) in the middle, and a main turbine (ПБ1) at the rear, all mounted on separate horizontal shafts. A gas generator (ГД) is shown at the front, with a gas inlet (1) and outlet (2). A force vector F_3 is applied to the compressor. The intermediate turbine is connected to a gas generator (ГД) in the middle, with a gas inlet (3) and outlet (4). A force vector F_2 is applied to the intermediate turbine. The main turbine is connected to a gas generator (ГД) at the rear, with a gas inlet (5) and outlet (6). A force vector F_1 is applied to the main turbine. The shafts are labeled $\beta)$.

а — однодвигательный конвейер; *б* — многодвигательный конвейер; *ПБ*, *ПБ1* — *ПБ3* — приводные барабаны; *НБ* — натяжной барабан.

Перечисленным требованиям в достаточной степени удовлетворяет электропривод с трехфазными асинхронными двигателями продолжительного режима работы — с короткозамкнутым и с фазным ротором. Недостатком двигателей с короткозамкнутым ротором является большой пусковой ток. Но применение двигателей с короткозамкнутым ротором удешевляет автоматизацию конвейеров. При этом предпочтительнее выбирать двигатели с повышенным пусковым моментом. Для однодвигательного привода конвейеров, скорость которых должна регулироваться, используют многоскоростные двигатели

Рассчет мощности двигателей конвейеров. При работе конвейера электропривод создает движущее усилие, которое передается приводным барабаном (звездочкой) тяговому органу — ленте (цепи). Для нормальной передачи этого усилия лента (цепь) должна иметь предельное натяжение, создаваемое грузом Q_0 (рис. 5-6, а). Усилие натяжения ленты (цепи) F будет изменяться от точки 0 по направлению к точкам 1—3 вследствие дополнительных усилий сопротивления движению. В точке 3 усилие $F_{\text{наб}}$, H , на набегающей ветви ленты (цепи) будет складываться из следующих составляющих:

$$F_{\text{заб}} = F_0 + F_{\Pi} + \Delta F + F_{\text{в.б}}, \quad (5-1)$$

где F_0 — усилие предварительного натяжения, Н; $F_{\alpha} = \pm G_{\text{гр}} \sin \beta$ — усилие, обусловленное подъемом или опусканием груза (у наклонных конвейеров), Н; $\Delta F = c(G_{\text{гр}} + G_0) \cos \beta$ — суммарное усилие, вызванное трением в опорах роликов, ленты по роликам или роликов по монорельсу, Н; $G_{\text{гр}}$ — сила тяжести транспортируемого груза, Н; G_0 — сила тяжести несущих и тяговых элементов (ленты, роликов, цепи и др.), Н; β — угол наклона трассы к горизонту (см. рис. 5-4), обычно $\beta \leq 20 - 22^\circ$; $c = 0,02 \div 0,05$ — общий коэффициент сопротивления движению; $F_{\text{н,б}}$ — усилие, компенсирующее сопротивление движению от трения в подшипниках натяжного барабана (звездочки), Н. Усилие $F_{\text{н,б}}$ находится

$$F_{H,6} \approx 2F_0 \mu d/D, \quad (5-2)$$

где μ — коэффициент трения, равный 0,03—0,06; D и d — диаметры барабана (звездочки) и цапфы подшипника, мм.

Усилие F_c , Н, преодолеваемое приводным двигателем, обусловлено разностью усилий в точках 3 и 0, т.е. в набегающей и сбегающей ветвях ленты (цепи) конвейера, и усилием $F_{п,6}$, Н, компенсирующим сопротивление

ние движению на приводном барабане (звездочке), т. е.

$$F_c = F_{наб} - F_0 + F_{п,б} = F_{п} + \Delta F + F_{и,б} + F_{п,б}, \quad (5-3)$$

где усилие $F_{п,б}$ определяется по формуле (5-2), в которую вместо F_0 нужно подставить $F_{наб}$.

Требуемая мощность, кВт, двигателя ленточного или подвесного конвейера

$$P_{дв} = k_3 \frac{F_c v_k \cdot 10^{-3}}{\eta_{п}}, \quad (5-4)$$

где v_k — максимальная скорость тягового органа конвейера, м/с; $k_3 = 1,1 \div 1,2$ — коэффициент запаса, учитывающий дополнительные сопротивления движению, $\eta_{п} = 0,75 \div 0,90$ — КПД механической передачи (редуктора, подшипников и т. д.).

Необходимая угловая скорость двигателя, рад/с,

$$\omega_{дв} = 2v_k i_p / D, \quad (5-5)$$

где i_p — передаточное число редуктора.

Далее выбирается двигатель на мощность $P_{ном} \geq P_{дв}$ и угловую скорость $\omega_{ном} \approx \omega_{дв}$.

Пример 5-1. Выбрать приводной двигатель ленточного конвейера, если известны значения: $v_k = 0,8$ м/с; $D = 0,42$ м; $i_p = 24,8$ и $\eta_{п} = 0,88$. Предварительными расчетами пайдены усилия $F_{п,б} = 320$ Н, $F_{наб} = 4500$ Н, $F_0 = 2300$ Н.

Расчетная мощность двигателя при $k_3 = 1,2$

$$P_{дв} = k_3 \frac{(F_{наб} - F_0 + F_{п,б}) v_k \cdot 10^{-3}}{\eta_{п}} =$$

$$= 1,2 \frac{(4500 - 2300 + 320) \cdot 0,8 \cdot 10^{-3}}{0,88} = 2,75 \text{ кВт.}$$

Необходимая угловая скорость двигателя

$$\omega_{дв} = \frac{2v_k i_p}{D} = \frac{2 \cdot 0,8 \cdot 24,8}{0,42} = 94,5 \text{ рад/с.}$$

Выбираем асинхронный двигатель с короткозамкнутым ротором типа 4АС112МА-6, закрытый, обдуваемого исполнения, с повышенным пусковым моментом: $P_{ном} = 3,2$ кВт, $U_{ном} = 380$ В, $\omega_{ном} = 95,25$ рад/с ($n_{ном} = 910$ об/мин), $M_{п}/M_{ном} = 1,9$.

Электропривод конвейеров большой протяженности нецелесообразно осуществлять от одного двигателя, поскольку при больших тяговых усилиях в механическом оборудовании участков, расположенных близко к приводной станции, создаются значительные напряжения.

Чтобы не перегружать эти участки, приходится увеличивать габариты тягового органа и механической части. Избежать возникновения больших тяговых усилий можно, если конвейеры приводятся в движение от нескольких приводных станций. При этом тяговый орган каждой приводной станции передает усилие, пропорциональное статическому сопротивлению только одного участка, а не всего конвейера.

Для выбора места установки нескольких приводных станций строится диаграмма изменения усилий натяжения (рис. 5-6, б), подсчитывается мощность двигателей и определяется такое место их установки, чтобы суммарное тяговое усилие F_c двигателей нескольких приводных станций примерно равнялось усилию однодвигательного привода. Оптимальное количество приводных станций можно определить путем технико-экономического сравнения нескольких вариантов, которые должны учитывать стоимость электрического и механического оборудования.

При многодвигательном приводе конвейера роторы отдельных двигателей в установившемся режиме имеют одинаковую скорость ω_c , так как они механически связаны тяговым органом. Вместе с тем электропривод должен обеспечить максимальное тяговое усилие, необходимое для преодоления

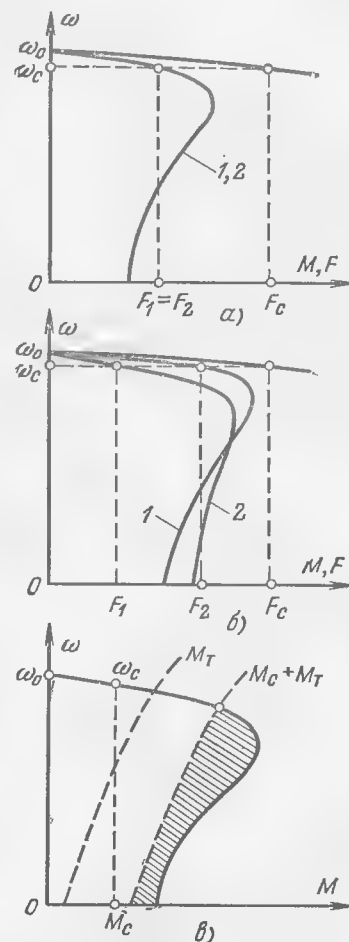


Рис. 5-7. Механические характеристики двухдвигательного электропривода конвейера.

а — при одинаковых параметрах двигателей; б — с двигателями, имеющими разные параметры; в — ограничение ускорения при пуске.

сопротивлений движению конвейера и равное сумме усилий, создаваемых отдельными двигателями, т. е. $F_1 + F_2 + \dots + F_i = F_c$. Рассмотрим случай, когда конвейер приводится в движение от двух приводных станций с двигателями одинаковой мощности. Если механические характеристики обоих двигателей полностью совпадают (рис. 5-7, а), то во время работы конвейера двигатели создают одинаковые тяговые усилия: $F_1 = F_2 = F_c/2$. Когда характеристики двигателей отличаются одна от другой (рис. 5-7, б), тяговые усилия двигателей будут разными, т. е. $F_1 \neq F_2 \neq F_c/2$. Двигатель, имеющий более жесткую характеристику, развивает тяговое усилие большее, чем двигатель, у которого характеристика мягче.

В тяговом органе конвейера при неодинаковых характеристиках двигателей возникает дополнительное натяжение, обусловленное разностью моментов двигателей. Поэтому при установке на приводных станциях конвейера асинхронных двигателей с короткозамкнутым ротором следует проверять их характеристики и применять машины с одинаковыми параметрами. Если для привода используются двигатели с фазным ротором, то соответствие характеристик может быть получено введением дополнительных сопротивлений в цепь ротора.

5.4. АВТОМАТИЗИРОВАННОЕ УПРАВЛЕНИЕ ЭЛЕКТРОПРИВОДАМИ КОНВЕЙЕРОВ

✓ Одной из важных задач, которую приходится решать при проектировании автоматизированного электропривода конвейеров, особенно ленточных большой протяженности, является ограничение ускорений в ленте конвейера при пуске. Лента представляет собой упругий элемент и при пуске с повышенным ускорением она может стать источником возникновения колебаний в механической части конвейера. Движение ленты при этом характеризуется неравномерностью линейных скоростей ее головного и хвостового участков (соответственно в точках 3 и 0 на рис. 5-6, а) и резкими изменениями натяжения, что может привести к повышенному износу ленты, а в некоторых случаях и к ее разрыву.

Для ограничения ускорений в электроприводе ленточных конвейеров (допустимые значения ускорений обычно равны 0,2—0,3 м/с²) можно использовать много-

ступенчатый пуск двигателя с фазным ротором. Однако такой способ приводит к усложнению схемы управления, увеличению габаритов панелей управления и ящиков пусковых резисторов. В некоторых случаях более удобно ограничивать ускорение привода при пуске путем создания дополнительной искусственной нагрузки на валу двигателя. Практически это осуществляется при помощи колодочных тормозов с электрическим или гидравлическим управлением, индукционных или фрикционных муфт, присоединяемых к валу двигателя. При наличии дополнительного тормозного момента M_T (рис. 5-7, в) уменьшается динамический момент $M_d = J_\Sigma d\omega/dt = M - (M_c + M_T)$ и тем самым ограничивается ускорение

$$\varepsilon = d\omega/dt = [M - (M_0 + M_T)]/J_\Sigma.$$

По окончании пуска источник тормозного момента M_T должен быть отключен от вала двигателя.

Для автоматизированного управления электроприводами механизмов непрерывного транспорта используются общие принципы построения схем управления с учетом необходимых блокировок, сигнализации и особенностей эксплуатации этих установок.

Управление электроприводами одиночных конвейеров, не связанных с другими механизмами, производится посредством магнитных пускателей и кнопок управления или автоматов с максимальной и тепловой защитой, размещаемых на пультах около приводных станций.

Более сложны схемы управления совместно работающими конвейерами или ПТС. В основе конструирования схем управления такими транспортными системами лежат следующие требования:

1. Пуск двигателей конвейеров должен производиться в направлении, обратном технологическому потоку, чтобы на конвейерах не образовывалось завала транспортируемого груза.

2. При остановке одного из конвейеров двигатели других конвейеров, подающих материалы на останавливаемый, сразу отключаются; двигатели остальных конвейеров могут продолжать работать.

3. При общей остановке транспортной линии большой производительности первым должен быть отключен двигатель того конвейера, с которого поступает материал на другие конвейеры, а затем поочередно отключаются остальные двигатели.

4. Для предотвращения большого снижения напряжения в питающей сети при пуске двигатели конвейеров значительной мощности должны пускаться поочередно.

5. Для опробования и наладки конвейеров следует обеспечить возможность пуска и остановки любого из них независимо от других конвейеров (обычно пуск и остановка при наладке производятся с рабочего места).

В схемах управления конвейерами необходимо предусматривать блокировки и взаимосвязи между двигателями, механизмами и другими устройствами. Блокировочные устройства целесообразно связывать непосредственно с ведомым барабаном конвейера, который вращается от транспортирующей ленты. При соскальзывании ленты и других неисправностях в работе конвейера система блокировки будет действовать от реле контроля скорости, соединенного с ведомым барабаном, и отключать двигатель.

Электрические блокировочные связи между двигателями конвейеров могут осуществляться путем использования вспомогательных контактов контакторов, переключателей и других аппаратов. Эти связи позволяют задавать необходимую последовательность пуска и остановки двигателей, запрещать выполнение операций в нежелательной последовательности, обеспечивать одновременность работы приводов и т. д.

Большое значение имеет сигнализация о состоянии механизмов, которая обеспечивает контроль за работой отдельных двигателей, оповещает об аварийных режимах и указывает места повреждений. При этом применяется световая и звуковая сигнализация (см. также § 13-6). Световую сигнализацию часто осуществляют с помощью световой мнемонической схемы, расположенной на пульте управления оператора. Схема отображает работу конвейеров, придает наглядный вид процессу контроля и уменьшает вероятность ошибочных включений. Звуковая сигнализация применяется для предупреждения о предстоящем пуске механизмов, особенно если они удалены от пульта управления. При аварийной остановке конвейеров должны автоматически включаться сигнальные лампы аварийного участка на мнемонической схеме, а также должен подаваться звуковой сигнал.

На рис. 5-8 показаны узлы схемы пусковой сигнализации. Перед пуском конвейеров оператор оповещает

конвейер 3 следует нажать кнопку K_{H3} . Двигатель ДЗ отключается, а Д1 и Д2 продолжают работать.

Схема управления обеспечивает: защиту от токов к. з. в силовой цепи и цепях управления предохранителями $Pr1 - Pr3$ и от длительных перегрузок двигателями тепловыми реле $PT1 - PT3$; сигнализацию, указывающую, в каком состоянии при нормальных условиях эксплуатации находятся двигатели (красная лампа ЛК указывает на то, что двигатель работает, зеленая лампа ЛЗ — на то, что двигатель остановлен). В схеме не предусмотрен контроль за состоянием ленты и другими повреждениями в конвейерах, так как за их работой наблюдает обслуживающий персонал.

В схемах автоматизированных конвейеров с большим числом двигателей для упрощения управления процессом пуска его производят одной кнопкой, с помощью которой включается последний по направлению потока движения материалов двигатель. Остальные двигатели включаются поочередно через замыкающие контакты контакторов ранее включенных двигателей. Для опробования и наладки конвейеров должна быть предусмотрена возможность пуска и остановки с рабочего места любого из двигателей независимо от других.

Нередко возникает необходимость согласованного вращения нескольких двигателей, приводящих в движение параллельно работающие конвейеры. Для этой цели применяются различные системы синхронного вращения (электрического вала).

На рис. 5-10, а изображена принципиальная электрическая схема двух согласованно движущихся конвейеров, приводимых в движение асинхронными двигателями Д1 и Д2*, включенными по схеме двойного питания. Статорные обмотки двигателей подключаются к сети переменного тока постоянной частоты f_1 , обмотки роторов питаются от преобразователя частоты ПЧ, который приводится во вращение двигателем Д через вариатор В. Статорные обмотки двигателя Д и преобразователя ПЧ подключены также к сети с частотой f_1 .

Изменением передаточного числа вариатора можно получить различную угловую скорость ротора ПЧ и, следовательно, различную частоту тока f_2 его роторной

* При большем числе конвейеров увеличивается соответственно количество двигателей; принцип работы схемы не изменяется

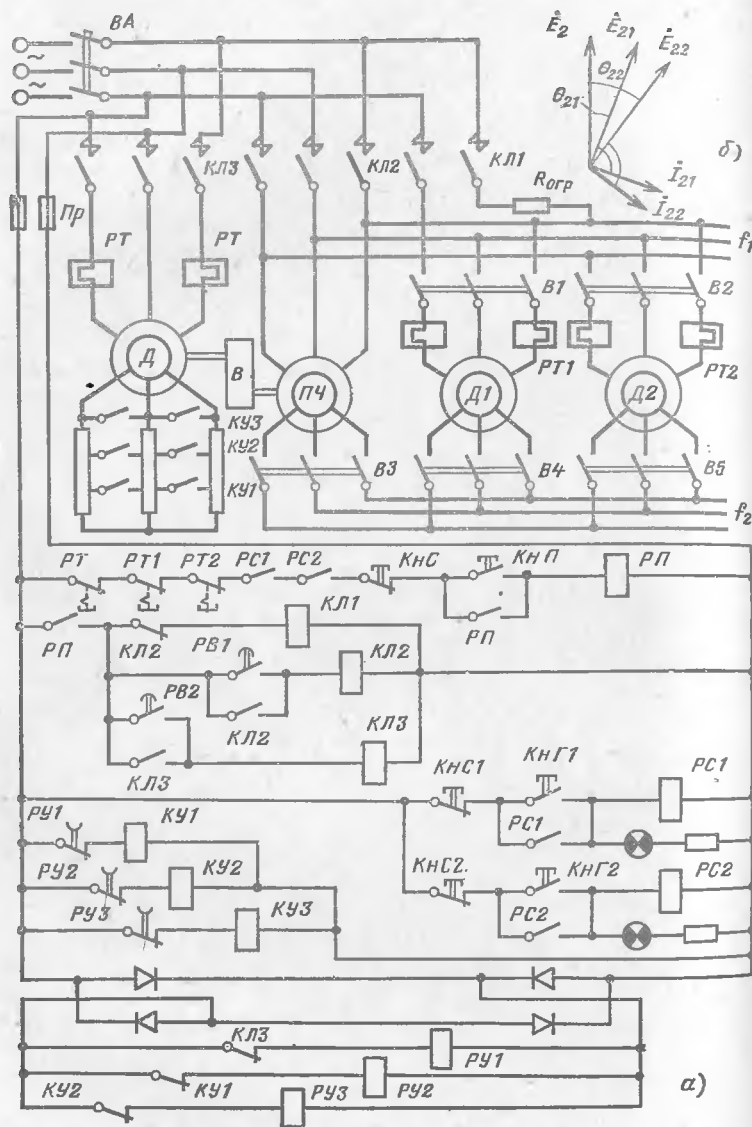


Рис. 5-10. Электрическая схема управления двигателями согласованно движущихся конвейеров.

цепи, что обеспечивает регулирование угловой скорости двигателей конвейеров. В машине двойного питания, как и в любой асинхронной машине, намагничивающие силы обмоток статора и ротора неподвижны одна относительно другой. Магнитный поток статора Φ_1 вращается относительно статора со скоростью $\omega_1 = 2\pi f_1/p$, соответственно поток ротора Φ_2 относительно ротора вращается с угловой скоростью $\omega_2 = 2\pi f_2/p$. Ротор машины двойного питания будет вращаться в ту же сторону, что и потоки, с угловой скоростью $\omega = \omega_1 - \omega_2 = 2\pi(f_1 - f_2)/p$ (здесь p — число пар полюсов статора и ротора).

Если двигатели Д1, Д2 и неподвижный преобразователь ПЧ подключить к сети, то частоты токов статорной и роторной цепей двигателей будут одинаковы и, следовательно, двигатели Д1 и Д2 останутся неподвижными. При вращении преобразователя частоты по полю статора частота f_2 наводимой в его роторе ЭДС E_2 уменьшится, и двигатели конвейеров будут вращаться с угловой скоростью, пропорциональной разности частот $f_1 - f_2$, так как частота f_1 будет больше, чем частота f_2 .

Все двигатели в приведенной системе согласованного вращения работают с одинаковой угловой скоростью как при равных, так и при разных нагрузках конвейеров, ибо увеличение, например, нагрузки на валу одного из двигателей приводит к возрастанию угла рассогласования θ_{21} (θ_{22}) между ЭДС его ротора E_{21} (E_{22}) и ЭДС ротора преобразователя частоты E_2 (рис. 5-10, б); при этом увеличивается ток ротора I_{21} (I_{22}) двигателя, а следовательно, и его момент.

Пуск конвейеров начинается с подачи операторами сигналов о готовности к работе каждого конвейера путем нажатия кнопок КНГ1, КНГ2. При этом срабатывают реле РС1, РС2, загораются сигнальные лампы, а также подготавливается к включению цепь реле пуска РП. При нажатии пусковой кнопки КНП реле РП срабатывает и включает линейный контактор КЛ1, который через ограничивающее сопротивление $R_{огр}$ подает однофазное напряжение на статорные обмотки преобразователя ПЧ и двигатели конвейеров Д1 и Д2. При этом роторы двигателей примут одинаковое (синфазное) положение в пространстве относительно статоров, что исключает выпадение машин из синхронизма при пуске.

Маятниковое реле времени РВ1, пристроенное к контактору КЛ1, после отсчета выдержки времени, необхо-

димой для поворота роторов двигателей и преобразователя частоты в синфазное положение, включает контактор $KЛ2$, который отключает контактор $KЛ1$ и подает трехфазное напряжение на двигатели $Д1$, $Д2$ и преобразователь $ПЧ$. Но так как частоты токов питания статорных и роторных цепей двигателей конвейеров (f_1 и f_2) одинаковы, двигатели останутся неподвижными.

После включения контактора $KЛ2$ с выдержкой времени, создаваемой маятниковым реле $PВ2$, сработает контактор $KЛ3$ и начнется пуск двигателя $Д$, осуществляемый контакторами $KУ1—KУ3$ и контролируемый в функции времени при помощи реле $PУ1—PУ3$. Преобразователь $ПЧ$ будет приведен во вращение, в роторы двигателей $Д1$, $Д2$ начнет подаваться ток частоты f_2 , и они станут синхронно вращаться. Отключение всей системы производится нажатием одной из кнопок «Стоп» $KнС$, $KнС1$ или $KнС2$.

Такая система привода обеспечивает достаточно жесткие механические характеристики, синхронное вращение и регулирование угловой скорости двигателей как нескольких параллельно работающих конвейеров, так и одного многодвигательного конвейера.

Управление группой двигателей конвейеров может производиться кнопками и переключателями управления, которые находятся непосредственно у механизмов или на диспетчерском пункте. Централизованное управление осуществляется обычно одной из кнопок, при нажатии которой двигатели включаются автоматически в определенной последовательности. При этом способе управления оператор освобождается от непосредственного участия в пуске каждого механизма и дает только начальный командный импульс на пуск и остановку конвейеров. Местное управление как самостоятельный режим применяется в том случае, когда конвейеры не связаны технологически друг с другом. Обычно этот режим для автоматизированных конвейеров используется в качестве вспомогательного для опробования и проведения ремонтных работ.

При управлении транспортирующими механизмами ПТС блокировочными зависимостями приходится охватывать не только конвейеры, но и обслуживающие их устройства и механизмы. Типичной является, например, блокировка работы конвейеров с положением шиберов

(перекидных заслонок), направляющих поток насыпных грузов в одну или другую сторону.

На рис. 5-11 в качестве примера приведены схемы, иллюстрирующие некоторые принципы управления ПТС с тремя конвейерами 1—3, двумя бункерами $Б1$, $Б2$ и шибером $Ш$. Транспортируемый материал с конвейера 3 (рис. 5-11, а) через воронку с двумя рукавами подается

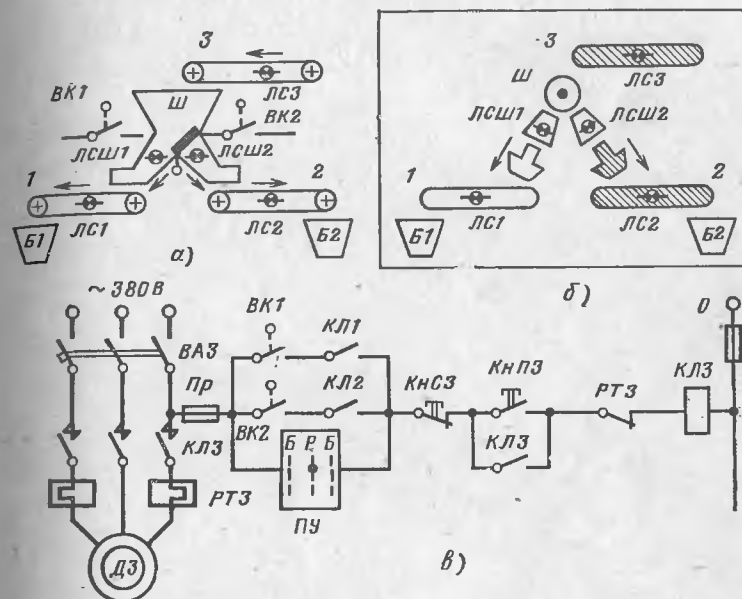


Рис. 5-11. Управление поточно-транспортной системой.

а — технологическая схема; б — mnemonicная схема на пульте; в — электрическая схема управления двигателем подающего конвейера.

на один из конвейеров 1 или 2. Во избежание завала или холостого хода этих конвейеров необходимо применить блокировку включения двигателей $Д1$ и $Д2$ (на рис. 5-11 не показаны) с положением шибера, которое фиксируется конечными выключателями $ВК1$ и $ВК2$. Если требуется, чтобы конвейер 3 подавал материал на конвейер 1, то шибер должен закрыть правый рукав воронки и открыть левый. При этом замыкается контакт $ВК1$, а контакт $ВК2$ остается разомкнутым. Первым